



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년02월04일
(11) 등록번호 10-1591748
(24) 등록일자 2016년01월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7003688
(22) 출원일자(국제) 2012년07월12일
심사청구일자 2015년05월28일
(85) 번역문제출일자 2014년02월12일
(65) 공개번호 10-2014-0051949
(43) 공개일자 2014년05월02일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/046452
(87) 국제공개번호 WO 2013/012675
국제공개일자 2013년01월24일
(30) 우선권주장
13/183,520 2011년07월15일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR100874895 B1
KR1020060090081 A
JP4299863 B2
US7437944 B2

(73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애
브뉴 3050
(72) 발명자
포트하우스, 키쓰, 브라이언
미국 94086 캘리포니아 썬니베일 이스트 워싱턴
애비뉴 555 아파트먼트 1106
레인, 존, 더블유.
미국 95126 캘리포니아 새너제이 모스 레인 651
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 남앤드남

전체 청구항 수 : 총 19 항

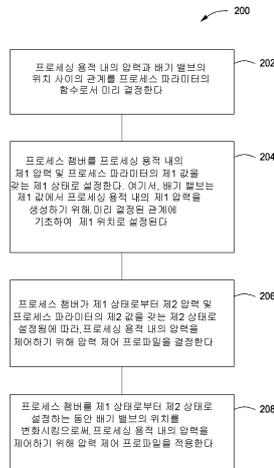
심사관 : 김정진

(54) 발명의 명칭 **모델 기반 제어를 사용하여 기관들을 프로세싱하기 위한 방법들 및 장치**

(57) 요약

본원에서는 방법들 및 장치가 개시된다. 몇몇 실시예들에서, 프로세스 챔버들을 제어하는 방법들은, 프로세싱 용적 내의 압력과 배기 밸브의 위치 사이의 관계를 프로세스 파라미터의 함수로서 미리 결정하는 단계; 프로세서 챔버를 프로세싱 용적 내의 제1 압력 및 프로세스 파라미터의 제1 값을 갖는 제1 상태로 설정하는 단계 - 배기 밸브는 제1 값에서 제1 압력을 생성하기 위해, 미리 결정된 관계에 기초하여 제1 위치로 설정됨 - ; 프로세스 챔버가 제1 상태에서부터 제2 압력 및 제2 프로세스 파라미터 값을 갖는 제2 상태로 변경됨에 따라, 압력을 제어하기 위해 압력 제어 프로파일을 결정하는 단계; 및 프로세스 챔버를 제2 상태로 변경하는 동안 배기 밸브의 위치를 변화시킴으로써, 압력을 제어하기 위해 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

그레고르, 마리우쉬

미국 95020 캘리포니아 길로이 밀러 애비뉴 7280

메리, 니르

미국 94040 캘리포니아 마운틴 뷰 라임트리 레인
1909

라이스, 마이클, 알.

미국 94566 캘리포니아 플래산톤 비아 디 살레르노
1025

민코비치, 알렉스

미국 95008 캘리포니아 캠벨 에인슬리 코트 3826

리, 흥빈

미국 94041 캘리포니아 마운틴 뷰 마리포사 애비뉴
706 아파트먼트 5

드질노, 드미트리, 에이.

미국 94807 캘리포니아 쉐니베일 글렌코 코트 712

명세서

청구범위

청구항 1

제어기에 의해 프로세싱 용적(processing volume)을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법으로서,
 상기 프로세싱 용적 내의 압력과, 상기 프로세싱 용적과 배기 시스템 사이에 배치된 배기 밸브(exhaust valve)의 위치 사이의 관계를 프로세스 파라미터의 함수로서 미리 결정하는 단계;
 상기 프로세스 챔버를 상기 프로세싱 용적 내의 제1 압력 및 상기 프로세스 파라미터의 제1 값을 갖는 제1 상태로 설정하는 단계 - 상기 배기 밸브는 상기 제1 값에서 상기 프로세싱 용적 내의 상기 제1 압력을 생성하기 위해, 상기 미리 결정된 관계에 기초하여 제1 위치로 설정됨 - ;
 상기 프로세스 챔버가 상기 제1 상태에서부터 제2 압력 및 상기 프로세스 파라미터의 제2 값을 갖는 제2 상태로 변경됨에 따라, 상기 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위해 압력 제어 프로파일을 결정하는 단계 - 상기 압력 제어 프로파일은, 상기 제1 압력, 상기 제2 압력, 상기 제1 값, 상기 제2 값, 및 상기 제1 위치를 입력 파라미터들로서 사용하는 모델 기반 제어 알고리즘으로부터 결정됨 - ; 및
 상기 프로세스 챔버를 상기 제1 상태에서부터 상기 제2 상태로 변경하는 동안 상기 배기 밸브의 위치를 변화시킴으로써, 상기 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위해 상기 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계를 포함하며,
 상기 압력 제어 프로파일을 결정하는 단계는,
 상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 클 때 상기 배기 밸브를 폐쇄 위치로부터 제2 위치로 이동시키기 위해 요구되는 제1 시간을 계산하는 단계; 또는
 상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 작을 때 상기 배기 밸브를 개방 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키기 위해 요구되는 제2 시간을 계산하는 단계 - 상기 개방 위치는 상기 배기 밸브의 완전 개방(full open) 위치임을 더 포함하는,
 제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,
 상기 압력 제어 프로파일을 결정하는 단계는,
 상기 프로세스 챔버가 상기 제2 상태로 설정될 때, 상기 프로세스 파라미터의 상기 제2 값에서 상기 프로세싱 용적 내의 상기 제2 압력을 생성할 상기 배기 밸브의 제2 위치를 상기 미리 결정된 관계로부터 결정하는 단계를 더 포함하는,
 제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1 항에 있어서,
 상기 압력 제어 프로파일을 결정하는 단계는, 트리거 압력을 계산하는 단계를 더 포함하고,
 상기 트리거 압력은, 상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 클 때 상기 제1 시간 내에 상기 제2 위치에 도달하기 위해 상기 배기 밸브가 상기 폐쇄 위치로부터 상기 제2 위치로 이동하기 시작하는 압력, 또는 상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 작을 때 상기 제2 시간 내에 상기 제2 위치에 도달하기 위해 상기 배기 밸브가 상기 개방 위치로부터 상기 제2 위치로 이동하기 시작하는 압력인,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 트리거 압력이 초과되지 않고,

상기 압력 제어 프로파일을 결정하는 단계는, 상기 트리거 압력에서의 초기 조건들의 세트 및 상기 제2 압력에서의 최종 조건들의 세트를 사용하여, 압력과 시간 사이의 제2 관계를 결정하는 단계를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 제2 관계를 결정하는 단계는, 상기 트리거 압력에서의 초기 조건들의 세트 및 상기 제2 압력에서의 최종 조건들의 세트를 사용하여 다항 방정식을 푸는 단계(solve)를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 7

제5 항에 있어서,

상기 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계는,

상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 클 때, 상기 배기 밸브를 상기 폐쇄 위치로 설정하는 단계; 또는

상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 작을 때, 상기 배기 밸브를 상기 개방 위치로 설정하는 단계를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계는,

상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 클 때 그리고 상기 트리거 압력에 도달했을 때, 결정된 제2 관계에 기초하여 상기 제1 시간에 걸쳐 상기 배기 밸브를 상기 폐쇄 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키는 단계; 또는

상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 작을 때 그리고 상기 트리거 압력에 도달했을 때, 상기 결정된 제2 관계에 기초하여 상기 제2 시간에 걸쳐 상기 배기 밸브를 상기 개방 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키는 단계를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 클 때 그리고 상기 트리거 압력에 도달했을 때, 상기 제1 시간에 걸쳐 상기 배기 밸브를 상기 폐쇄 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키는 단계는,

상기 배기 밸브를 복수의 중간 위치들을 통해 상기 배기 밸브의 상기 폐쇄 위치로부터 상기 제2 위치로 반복적으로(iteratively) 이동시키는 단계 - 각각의 중간 위치는, 대응하는 중간 압력 및 대응하는 중간 압력 미분값(differential)을 상기 미리 결정된 관계에서의 입력들로서 사용하여, 상기 미리 결정된 관계로부터 결정되며, 그리고 상기 대응하는 중간 압력 및 상기 대응하는 중간 압력 미분값은 상기 압력이 상기 트리거 압력에 도달했을 때의 초기 시간과 상기 제1 시간 사이의 대응하는 중간 시간에 상기 제2 관계를 사용하여 결정됨 - 를 더 포함하고,

상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 작을 때 그리고 상기 트리거 압력에 도달했을 때, 상기 제2 시간에 걸쳐 상기 배기 밸브를 상기 개방 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키는 단계는,

상기 배기 밸브를 복수의 중간 위치들을 통해 상기 배기 밸브의 상기 개방 위치로부터 상기 제2 위치로 반복적으로 이동시키는 단계 - 각각의 중간 위치는, 대응하는 중간 압력 및 대응하는 중간 압력 미분값을 상기 미리 결정된 관계에서의 입력들로서 사용하여, 상기 미리 결정된 관계로부터 결정되며, 그리고 상기 대응하는 중간 압력 및 상기 대응하는 중간 압력 미분값은 상기 압력이 상기 트리거 압력에 도달했을 때의 초기 시간과 상기 제2 시간 사이의 대응하는 중간 시간에 상기 제2 관계를 사용하여 결정됨 - 를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 10

제4 항에 있어서,

상기 트리거 압력이 초과되고,

상기 압력 제어 프로파일을 결정하는 단계는,

상기 배기 밸브를 상기 제1 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키기 위해 요구되는 제3 시간을 계산하는 단계, 및

상기 제1 압력에서의 초기 조건들의 세트 및 상기 제2 압력에서의 최종 조건들의 세트를 사용하여, 압력과 시간 사이의 제2 관계를 결정하는 단계를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계는,

상기 트리거 압력이 초과되었을 때, 상기 결정된 제2 관계에 기초하여 상기 제3 시간에 걸쳐 상기 배기 밸브를 상기 제1 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키는 단계를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 제3 시간에 걸쳐 상기 배기 밸브를 상기 제1 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키는 단계는,

상기 배기 밸브를 복수의 중간 위치들을 통해 상기 배기 밸브의 상기 제1 위치로부터 상기 제2 위치로 반복적으로 이동시키는 단계를 더 포함하고,

각각의 중간 위치는, 대응하는 중간 압력 및 대응하는 중간 압력 미분값을 상기 미리 결정된 관계에서의 입력들로서 사용하여, 상기 미리 결정된 관계로부터 결정되며, 그리고 상기 대응하는 중간 압력 및 상기 대응하는 중간 압력 미분값은 상기 배기 밸브가 상기 제1 위치에 있을 때의 초기 시간과 상기 제3 시간 사이의 대응하는 중간 시간에 상기 제2 관계를 사용하여 결정되는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 13

제2 항에 있어서,

상기 제2 압력은 상기 제1 압력과 동일하고, 상기 프로세스 파라미터의 상기 제2 값은 상기 제1 값과 상이하며, 그리고

상기 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계는, 상기 제1 압력 및 상기 제2 압력과 동일한 일정한 압력을 유지하면서 상기 배기 밸브를 상기 제1 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키는 단계를 더 포함하고,

상기 배기 밸브를 상기 제1 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키는 단계는, 상기 배기 밸브를 복수의 중간 위치들을 통해 상기 배기 밸브의 상기 제1 위치로부터 상기 제2 위치로 반복적으로 이동시키는 단계를 더 포함하며,

각각의 중간 위치는, 상기 일정한 압력 및 상기 프로세스 파라미터의 대응하는 중간 값을 상기 미리 결정된 관계에서의 입력들로서 사용하여, 상기 미리 결정된 관계로부터 결정되고, 상기 프로세스 파라미터의 상기 대응하는 중간 값은 상기 프로세스 파라미터의 상기 제1 값과 상기 제2 값 사이인,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 14

제1 항에 있어서,

상기 프로세싱 용적 내의 압력과 상기 배기 밸브의 위치 사이의 관계를 미리 결정하는 단계는,

상기 미리 결정된 관계를 결정하기 위해, 상기 배기 밸브를 통한 가스 유동(gas flow)을 상기 프로세스 파라미터의 함수로서 모델링하는 단계를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 15

제14 항에 있어서,

상기 배기 밸브를 통한 가스 유동을 모델링하는 단계는,

(a) 상기 배기 밸브를 개방 위치로 설정하는 단계;

(b) 상기 프로세스 파라미터를 제1 테스트 값으로 설정하는 단계;

(c) 상기 프로세스 파라미터를 상기 제1 테스트 값으로 유지하면서, 상기 배기 밸브를 복수의 중간 위치들을 통해 상기 배기 밸브의 상기 개방 위치로부터 폐쇄 위치로 반복적으로 이동시키고 그리고 상기 배기 밸브의 상기 복수의 중간 위치들 각각에서 대응하는 압력을 기록하는 단계; 및

(d) 상기 프로세스 파라미터에 대한 복수의 테스트 값들을 사용하여 단계 (a) 내지 단계 (c) 단계를 반복하는 단계

를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

청구항 16

제어기에 의해 프로세스 챔버를 제어하기 위한 방법으로서,

상기 프로세스 챔버는,

프로세싱 용적, 및 상기 프로세싱 용적에서의 압력을 제어하기 위해 배기 시스템과 상기 프로세싱 용적 사이에 배치된 배기 밸브를 갖고,

제어기에 의해 상기 프로세스 챔버를 제어하기 위한 방법은,

상기 프로세스 챔버를 상기 프로세싱 용적 내의 제1 압력 및 프로세스 파라미터의 제1 값을 갖는 제1 상태로 설정하는 단계 - 상기 배기 밸브는, 상기 프로세스 파라미터의 함수로서 상기 배기 밸브의 위치와 상기 프로세싱 용적 내의 압력 사이의 미리 결정된 관계에 기초하여 상기 제1 값에서 상기 프로세싱 용적 내의 상기 제1 압력을 생성하기 위해 제1 위치로 설정됨 -; 및

상기 프로세스 챔버를 상기 제1 상태에서부터 제2 압력 및 상기 프로세스 파라미터의 제2 값을 갖는 제2 상태로 변경하는 동안 상기 배기 밸브의 위치를 변경시킴으로써, 상기 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위해 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계 - 상기 압력 제어 프로파일은, 상기 제1 압력, 상기 제2 압력, 상기 제1 값, 상기 제2 값, 및 상기 제1 위치를 입력 파라미터들로서 사용하는 모델 기반 제어 알고리즘으로부터 결정됨 -

를 포함하고,

상기 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계는,

상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 클 때 상기 배기 밸브를 폐쇄 위치로부터 제2 위치로 이동시키기 위해 요구되는 제1 시간을 계산하는 단계; 또는

상기 제2 압력이 상기 제1 압력보다 작을 때 상기 배기 밸브를 개방 위치로부터 상기 제2 위치로 이동시키기 위해 요구되는 제2 시간을 계산하는 단계 - 상기 개방 위치는 상기 배기 밸브의 완전 개방(full open) 위치임 - 를 더 포함하는,

제어기에 의해 프로세스 챔버를 제어하기 위한 방법.

청구항 17

반도체 기판들을 프로세싱하기 위한 시스템으로서,

프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버;

상기 프로세싱 용적에 프로세스 파라미터를 제공하기 위한 프로세싱 소스;

상기 프로세싱 용적과 배기 시스템의 배기 용적 사이에 배치되는 배기 밸브;

상기 프로세스 챔버에 커플링된 제어기; 및

상기 배기 밸브의 위치를 변화시키기 위한 모터화된 드라이브 - 상기 모터화된 드라이브는 상기 제어기에 직접 커플링되고 상기 제어기에 의해 제어됨 - 를 포함하고,

상기 제어기는 명령들이 저장되어 있는 컴퓨터 판독가능 매체를 더 포함하고, 상기 명령들은 상기 제어기에 의해 실행될 때 상기 제어기로 하여금 상기 프로세스 챔버를 제어하기 위한 방법을 수행하게 하며,

상기 방법은,

상기 프로세싱 용적 내의 압력과, 상기 배기 밸브의 위치 사이의 관계를 프로세스 파라미터의 함수로서 미리 결정하는 단계;

상기 프로세스 챔버를 상기 프로세싱 용적 내의 제1 압력 및 상기 프로세스 파라미터의 제1 값을 갖는 제1 상태로 설정하는 단계 - 상기 배기 밸브는 상기 제1 값에서 상기 프로세싱 용적 내의 상기 제1 압력을 생성하기 위해, 상기 미리 결정된 관계에 기초하여 제1 위치로 설정됨 - ;

상기 프로세스 챔버가 상기 제1 상태에서부터 제2 압력 및 상기 프로세스 파라미터의 제2 값을 갖는 제2 상태로 변경됨에 따라, 상기 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위해 압력 제어 프로파일을 결정하는 단계 - 상기 압력 제어 프로파일은, 상기 제1 압력, 상기 제2 압력, 상기 제1 값, 상기 제2 값, 및 상기 제1 위치를 입력 파라미터들로서 사용하는 모델 기반 제어 알고리즘으로부터 결정됨 - ; 및

상기 프로세스 챔버를 상기 제1 상태에서부터 상기 제2 상태로 변경하는 동안 상기 배기 밸브의 위치를 변화시킴으로써, 상기 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위해 상기 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계

를 포함하는,

반도체 기판들을 프로세싱하기 위한 시스템.

청구항 18

제17 항에 있어서,

상기 프로세싱 소스는 질량 유동 디바이스(mass flow device)를 포함하고,

상기 질량 유동 디바이스는:

센서 및

조정가능한 밸브를 더 포함하며,

상기 질량 유동 디바이스의 상기 센서 및 상기 조정가능한 밸브는 상기 제어기에 직접 커플링되는,

반도체 기관들을 프로세싱하기 위한 시스템.

청구항 19

제17 항에 있어서,

상기 프로세싱 용적 내의 제1 압력 범위(first range of pressure)를 측정하기 위한 제1 압력 게이지(gauge); 및

상기 프로세싱 용적 내의 제2 압력 범위(second range of pressure)를 측정하기 위한 제2 압력 게이지를 더 포함하고,

상기 제1 압력 게이지 및 상기 제2 압력 게이지는 상기 제어기에 직접 커플링되고 상기 제어기에 의해 제어되는,

반도체 기관들을 프로세싱하기 위한 시스템.

청구항 20

삭제

청구항 21

제1 항에 있어서,

상기 미리 결정된 관계는,

(a) 모델로의 입력들로서 챔버 압력, 미분 챔버 압력, 챔버 온도, 챔버 용적, 또는 프로세스 파라미터 중 하나 이상, 및

(b) 상기 모델의 출력들로서 상기 배기 밸브의 위치

를 갖는 상기 배기 밸브에 대한 상기 모델인,

제어기에 의해 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 실시예들은 일반적으로, 기관 프로세싱 시스템들에서 기관들을 프로세싱하기 위한 방법들 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기관 프로세싱 시스템들은, 기관이 기관 지지체(substrate support) 상에 배치될 수 있는 프로세싱 용적(processing volume)을 갖는 프로세스 챔버를 포함한다. 하나 또는 그 초과 프로세스 가스들이, 기관을 프로세싱하기 위해 프로세싱 용적 내로 유동될 수 있다. 전형적으로, 그러한 시스템들에서, 챔버 압력 및 프로세스 가스 유동은 개별적으로 제어된다. 예를 들어, 가스 유량(flow rate)들은, 이를 테면 질량 유동 제어기(mass flow controller)들 등과 같은 유동 제어기들에 의해 설정된다. 유사하게, 압력 레벨들은, 이를 테면 쓰로틀 밸브(throttle valve) 등과 같은, 챔버로부터의 배기 밸브(exhaust valve)에서 설정된다. 유량들은 이후, 프로세싱 용적 내에서의 잔류 시간 영향(residence time effect)들을 조정하기 위해 압력 레벨들이 설정된 후에 수정될 수 있다. 부가적으로, 상이한 유량들 및/또는 챔버 압력들에서 프로세스들 사이에 스위칭할 때, 시스템이 제2 유량 및/또는 챔버 압력에서 안정화되도록 대기하는 동안, 기관 프로세싱이 느려질 수 있다.

[0003] 따라서, 본 발명자들은 기관들을 프로세싱하기 위한 개선된 방법들 및 장치를 제공하였다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0004] 본원에서는 모델 기반 압력 제어를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한 방법들 및 장치가 제공된다. 몇몇 실시

예들에서, 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법은, 프로세싱 용적 내의 압력과 배기 밸브의 위치(position) 사이의 관계를 프로세스 파라미터의 함수로서 미리 결정(predetermine)하는 단계; 프로세스 챔버를 프로세싱 용적 내의 제1 압력 및 프로세스 파라미터의 제1 값을 갖는 제1 상태로 설정하는 단계 - 배기 밸브는 제1 값에서 프로세싱 용적 내의 제1 압력을 생성하기 위해, 미리 결정된 관계에 기초하여 제1 위치로 설정됨 - ; 프로세스 챔버가 제1 상태에서부터 제2 압력 및 프로세스 파라미터의 제2 값을 갖는 제2 상태로 변함에 따라, 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위해 압력 제어 프로파일(profile)을 결정하는 단계 - 압력 제어 프로파일은 제1 압력, 제2 압력, 제1 값, 제2 값, 및 제1 위치를 입력 파라미터들로서 사용하는 모델 기반(model based) 제어 알고리즘으로부터 결정됨 - ; 및 프로세스 챔버를 제1 상태에서부터 제2 상태로 변경하는 동안 배기 밸브의 위치를 변화시킴으로써, 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위해 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계를 포함한다.

[0005] 몇몇 실시예들에서, 프로세싱 용적 및 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위한 배기 밸브를 갖는 프로세스 챔버를 제어하는 방법은, 프로세스 챔버를 프로세싱 용적 내의 제1 압력 및 프로세스 파라미터의 제1 값을 갖는 제1 상태로 설정하는 단계 - 배기 밸브는, 프로세스 파라미터의 함수로서의, 프로세싱 용적 내의 압력과 배기 밸브의 위치 사이의 미리 결정된 관계를 기초로 제1 값에서 프로세싱 용적 내의 제1 압력을 생성하기 위해 제1 위치로 설정됨 - ; 및 프로세스 챔버를 제1 상태에서부터 제2 압력 및 프로세스 파라미터의 제2 값을 갖는 제2 상태로 변경하는 동안 배기 밸브의 위치를 변화시킴으로써, 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위해 압력 제어 프로파일을 적용하는 단계 - 압력 제어 프로파일은 제1 압력, 제2 압력, 제1 값, 제2 값, 및 제1 위치를 입력 파라미터들로서 사용하는 모델 기반 제어 알고리즘으로부터 결정됨 - 를 포함할 수 있다.

[0006] 몇몇 실시예들에서, 반도체 기관들을 프로세싱하기 위한 시스템은, 프로세싱 용적을 갖는 프로세스 챔버; 프로세싱 용적에 프로세스 파라미터를 제공하기 위한 프로세싱 소스; 프로세싱 용적과 배기 시스템의 배기 용적(exhaust volume) 사이에 배치된 배기 밸브; 및 프로세스 챔버에 커플링된 제어기를 포함하며, 상기 제어기는 명령들이 저장되어 있는 컴퓨터 판독가능 매체를 더 포함하고, 상기 명령들은 제어기에 의해 실행될 때 제어기로 하여금, 상술된 프로세스 챔버를 제어하는 방법의 실시예들 또는 하기 설명되는 프로세스 챔버를 제어하는 방법의 다른 및 추가적인 실시예들을 수행하게 한다.

[0007] 본 발명의 다른 및 추가적인 실시예들이 하기에서 설명된다.

도면의 간단한 설명

[0008] 앞서 간략히 요약되고 하기에서 더 상세히 논의되는 본 발명의 실시예들은, 첨부된 도면들에 도시된 본 발명의 예시적인 실시예들을 참조로 하여 이해될 수 있다. 그러나, 첨부된 도면들은 본 발명의 단지 전형적인 실시예들을 도시하는 것이므로 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않아야 한다는 것이 주목되어야 하는데, 이는 본 발명이 다른 균등하게 유효한 실시예들을 허용할 수 있기 때문이다.

- 도 1은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 기관 프로세싱 시스템을 도시한다.
- 도 2는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른, 프로세스 챔버를 제어하기 위한 방법의 흐름 차트(flow chart)를 도시한다.
- 도 3은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 제어 흐름도를 도시한다.
- 도 4는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른, 프로세싱 용적 내의 압력과 배기 밸브의 위치 사이의 관계를 결정하기 위한 방법의 흐름 차트를 도시한다.
- 도 5는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른, 압력 제어 프로파일을 결정하기 위한 방법의 흐름 차트를 도시한다.
- 도 6은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른, 압력 제어 프로파일을 적용하기 위한 방법의 흐름 차트를 도시한다 .

이해를 용이하게 하기 위해, 도면들에서 공통되는 동일한 요소들을 표시하기 위해 가능한 한 동일한 참조번호들이 사용되었다. 도면들은 실척대로 그려지지 않았으며, 명료함을 위해 단순화될 수 있다. 일 실시예의 요소들 및 특징들은 추가의 언급없이 다른 실시예들에 유리하게 통합될 수 있음이 고려된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 본원에서는 모델 기반 제어를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한 방법들 및 장치가 제공된다. 본 발명의 방법들 및 장치의 실시예들은 유익하게는, 이를 테면, 프로세싱 조건들 등의 변화의 결과로서 챔버 압력이 변화될

때 챔버 압력을 새로운 세트포인트 값(setpoint value)으로 안정화시키는 것과 같은, 보다 빠른 과도 응답(transient response)을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명의 방법들 및 장치의 실시예들은 유익하게는, 기관 프로세싱 시스템에서 프로세스 변화들을 예측(anticipate)하는 것을 용이하게 하는 피드-포워드 제어(feed-forward control)를 제공할 수 있다. 피드-포워드 제어는 유익하게는, 예를 들어, 프로세스 조건들의 안정화를 위해 대기하는 데에 소비되는 시간을 감소시킴으로써, 보다 효율적인 기관 프로세싱 및/또는 보다 높은 처리량(throughput)을 용이하게 할 수 있다. 본원에서 제공되는 본 발명의 방법들의 실시예들은 또한, 시스템들 사이에서 개선된 챔버 매칭(chamber matching)을 용이하게 하기 위해 기관 프로세싱 시스템들에서 표준화된 튜닝 절차(standardized tuning procedure)로서 사용될 수 있다.

[0010]

도 1은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른 기관 프로세싱 시스템(100)을 도시한다. 기관 프로세싱 시스템(100)은 프로세싱 용적(104)을 갖는 프로세스 챔버(102)를 포함할 수 있다. 기관 프로세싱 시스템(100)에서 프로세싱하는 동안 기관(108)을 지지하기 위해, 기관 지지체(106)가 프로세싱 용적(104) 내에 배치될 수 있다. 프로세스 챔버(102)는 기관 및/또는 복수의 기관들을 동시에 프로세싱하기 위한 임의의 적합한 프로세스 챔버일 수 있다. 예를 들어, 프로세스 챔버(102)는 화학 기상 증착(CVD), 원자 층 증착(ALD), 물리 기상 증착(PVD), 금속 화학 기상 증착(MCVD), 블랭킷 덤 서브-미크론 화학 기상 증착(블랭킷 DSM-CVD) 또는 임의의 적합한 플라즈마 또는 비(non)-플라즈마 가능(enabled) 또는 강화(enhanced) 프로세스들, 이를 테면 식각, 증착, 세정 등 중에서 하나 또는 그 조합을 위해 구성될 수 있다. 기관 지지체(106)는 프로세스 챔버(102)의 임의의 적합한 구성들과 함께 사용하기 위한 임의의 적합한 기관 지지체일 수 있다. 기관 지지체(106)는 서셉터(susceptor), 정전 척(electrostatic chuck), 히터(heater), RF 전극, 리프트 핀 조립체(lift pin assembly) 등 중에서 하나 또는 그 조합을 포함할 수 있다.

[0011]

시스템(100)은 하나 또는 그 조합의 프로세스 파라미터를 프로세싱 용적(104)에 제공하기 위한 하나 또는 그 조합의 프로세싱 소스들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 프로세스 파라미터들은, RF 전력의 크기(magnitude), 프로세스 가스의 유량, 챔버 컴포넌트(component)의 온도, 챔버 온도, 챔버 압력, 포어라인(foreline) 압력, 서셉터 후면측(backside) 압력, 프로세스 가스 타입, 프로세스 가스 온도, 서셉터 온도, 서셉터 위치, 기관 히터 전력 레벨, 배기 밸브 히터 전력 레벨, 배기 밸브 히터 온도, 배기 밸브 위치, 프로세스 레시피 단계 등을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 또는 그 조합의 유동 디바이스들, 하나 또는 그 조합의 무선 주파수(RF) 전력 소스들, 기관 히터, 배기 밸브 히터 등과 같은 프로세싱 소스들에 의해, 하나 또는 그 조합의 프로세스가 제공될 수 있다.

[0012]

예를 들어, 하나 또는 그 조합의 프로세스 가스들을 프로세싱 용적(104)에 제공하기 위해, 하나 또는 그 조합의 유동 디바이스들(110)이 가스 유입구(gas inlet)(116)에 커플링될 수 있다. 가스 유입구(116)는 하나 또는 그 조합의 프로세스 가스들을 요구되는 방식으로 (이를 테면, 기관(108) 위의 프로세싱 용적(104)의 영역 내로, 기관(108)을 향해 지향되게, 기관(108)의 표면에 걸쳐서 지향되게, 등) 프로세싱 용적(104)에 제공하기 위한 임의의 적합한 유입구 또는 유입구들일 수 있다. 예를 들어, 가스 유입구(116)는 (도시된 것과 같은) 샤워헤드, 가스 주입기(injector), 노즐들 등 중에서 하나 또는 그 조합일 수 있다. 비록 도 1에서 기관 지지체(106) 위에 배치되어 있는 것으로 도시되어 있기는 하지만, 대안적으로(alternately) 또는 결합하여, 가스 유입구(116)는 프로세스 챔버(102)의 측벽들 또는 바닥에, 또는 프로세스 챔버 내에(예를 들어, 기관 지지체(106) 근처에) 배치될 수 있다. 하나 또는 그 조합의 유동 디바이스들(110) 각각은 복수의 가스 소스들(118) 중 하나 또는 그 조합에 커플링될 수 있다. 예를 들어, 복수의 가스 소스들(118)은 가스 패널 등의 부분(part)일 수 있으며, 여기서 각각의 유동 디바이스(110)는, 대응하는 가스 소스(118)로부터 가스 유입구(116)로의 프로세스 가스의 유동을 제어한다.

[0013]

하나 또는 그 조합의 RF 전력 소스들은, 프로세스 가스 또는 프로세싱 용적(104) 내로 유동되는 어떠한 다른 가스 또는 가스들로부터 플라즈마를 형성하기 위해, 프로세싱 용적(104)과 같은 프로세싱 시스템(100)의 다양한 부분들, 또는 기관 지지체(106) 등에 RF 전력을 제공하는 데에 사용될 수 있다. 예를 들어, 제1 RF 전력 소스(112A) 및 제2 RF 전력 소스(112B)가 도 1에 도시되어 있다. 제1 및 제2 RF 전력 소스들(112A, 112B)은 본원에서 집합적으로(collectively) 하나 또는 그 조합의 RF 전력 소스들(112), 또는 RF 전력 소스(112)로서 지칭된다. 각각의 RF 전력 소스는 일반적으로, RF 생성기(generator), 및 플라즈마와 RF 생성기의 임피던스(impedance)를 매칭(matching)시키기 위해 사용되는 매칭 회로(matching circuit)를 포함한다. 하나 또는 그 조합의 RF 전력 소스들은 기관 프로세싱 시스템(100) 내의 다양한 요소들에 커플링될 수 있다.

[0014]

제1 RF 전력 소스(112A)는 하나 또는 그 조합의 프로세스 가스들로부터 플라즈마를 형성하는 것을 용이하게 하기 위해 이용될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 제1 RF 전력 소스(112A)는 프로세스 챔버(102)의 덮개(lid) 또는

천장(ceiling) 근방에 배치될 수 있다. 예를 들어, 제1 RF 전력 소스(112A)는 플라즈마를 형성하기 위해 프로세스 챔버(102) 내의 하나 또는 그 초과와 프로세스 가스들에 RF 에너지를 커플링하도록 구성될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 제1 RF 전력 소스(112A)는, 예를 들어 대시 선(dashed line)(113)에 의해 도시된 바와 같이, 프로세스 챔버(102)의 천장 위에 배치된 하나 또는 그 초과와 유도 코일(inductive coil)들(111)과 같은 전극에 커플링될 수 있다. 대안적으로 또는 결합하여, 제1 RF 전력 소스(112A)는, 대시 선(115)에 의해 도시된 바와 같이, 프로세스 챔버의 천장 내에 또는 천장 근처에 배치된 전극, 이를 테면 가스 유입구(116)의 전도성 부분에 커플링될 수 있다. 제1 RF 전력 소스(112A)는 또한, 또는 대안적으로, 요구되는 위치에 RF 에너지를 제공하기 위해 다른 적합한 컴포넌트들에 커플링될 수 있다. 비록 단일 RF 소스(예를 들어, 112A)가 천장 근방에서 프로세스 챔버(102)에 커플링된 것으로 도시되어 있지만, 복수의 RF 전력 소스들이 동일한 전극에서 천장에 커플링될 수 있거나, 또는 상이한 전극들에 커플링될 수 있다.

[0015] 제2 RF 전력 소스들(112B)은, 예를 들어, 프로세싱 동안에 기관 바이어스 제어를 제공하기 위해, 기관 지지체(106)에 커플링될 수 있다. 상술한 것과 유사하게, 비록 단일 RF 소스가 기관 지지체(106)에 커플링된 것으로 도시되어 있지만, 복수의 RF 전력 소스들이 동일한 전극에서 기관 지지체(106)에 커플링될 수 있거나, 또는 상이한 전극들에 커플링될 수 있다. 부가적으로, 또는 대안적으로, 다른 RF 전력 소스들(112)이, RF 에너지를 프로세스 챔버 또는 프로세스 챔버(102) 내에 배치되거나 프로세스 챔버(102) 내로 유동하는 가스들에 커플링하기 위해, 프로세스 챔버의 측벽들 내에 또는 측벽들 근처에 또는 다른 요구되는 위치들에 배치된 전극들(미도시)과 같은, 프로세스 챔버의 다른 컴포넌트들에 커플링될 수 있다.

[0016] 하나 또는 그 초과와 유동 디바이스들(110) 각각은, 이를 테면 질량 유동 제어기 등과 같은 질량 유동 디바이스일 수 있다. 하나 또는 그 초과와 유동 디바이스들(110) 각각은 센서(120) 및 조정가능한(adjustable) 밸브(122)를 포함할 수 있다. 센서(120)는 압력 센서 또는 온도 센서 중 하나 또는 그 초과를 포함할 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이, 센서(120) 및 조정가능한 밸브(122)는 제어기(124)에 직접 커플링될 수 있다. 제어기(124)는 시스템(100)의 컴포넌트들 각각을 제어하기 위한 중앙화된(centralized) 시스템 제어기일 수 있으며, 하기에서 더 상세히 논의된다. 예를 들어, 동작시, 센서는 프로세스 가스의 유량을 결정하기 위해 프로세스 가스의 온도 또는 압력 중 하나 또는 그 초과를 표시하는 신호를 제어기(124)에 제공할 수 있으며, 그리고 제어기(124)는 조정가능한 밸브(122)를 제어함으로써 유량을 요구되는 바와 같이 조정할 수 있다.

[0017] 유동 디바이스(110)의 이러한 설계는 전형적인 유동 디바이스와 상이할 수 있다. 예를 들어, 질량 유동 제어기와 같은 전형적인 유동 디바이스(미도시)는 온보드 위치 제어기(onboard position controller)와 통신하는 조정가능한 밸브 및 센서를 포함하여, 유동 센서, 조정가능한 밸브 및 온보드 위치 제어기 사이에 로컬 폐쇄 루프 제어(local closed loop control)를 제공할 수 있다. 전형적인 유동 디바이스의 온보드 위치 제어기는 시스템 제어기로부터의 신호에 응답하여 유량의 튜닝(tuning) 및 최적화를 제어한다. 불행하게도, 전형적인 유동 디바이스의 이러한 종래의 설계는, 제조사의 규격(specification)들, 제어 설정들 등에 따라, 온보드 위치 제어기와 시스템 제어기(124) 사이에 고유한 제어 접근법(unique control approach)을 요구할 수 있다. 또한, 중간 제어기(intermediate controller)(즉, 전형적인 유동 디바이스의 온보드 위치 제어기)로 인하여, (시스템 제어기(124)가 유동 제어 디바이스(110)를 직접 제어하는 것이 아니라) 신호가 먼저 중간 제어기로 중계(relay)되고, 이후 중간 제어기가 후속적으로 전형적인 유동 디바이스의 튜닝 및 최적화를 제어하기 때문에, 시스템 제어기(124)로부터의 임의의 커맨드들에 대한 응답이 느려질 수 있다. 또한, 중간 제어기의 부재(absence)는 유익하게는, 연속적으로 변하는 유동 커맨드들, 위치 제어 모드에서의 유동 제어 디바이스(110)의 사용을 허용할 수 있고, 시스템 제어기(124)로부터의 보다 빠른 업데이트 레이트(rate)들 등을 허용할 수 있다. 그러나, 온보드 위치 제어기와 통신하는 조정가능한 밸브 및 센서를 포함하여, 유동 센서, 조정가능한 밸브 및 온보드 위치 제어기 사이에 로컬 폐쇄 루프 제어를 제공할 수 있는, 질량 유동 제어기와 같은 전형적인 유동 디바이스(미도시)는 또한, 본원에서 개시되는 모델 기반 제어의 방법들과 함께 사용될 수 있다.

[0018] 따라서, 본 발명의 실시예들에서, 그리고 도 1에 도시된 바와 같이, 종래의 위치 제어기는 시스템으로부터 생략되며, 그리고 제어기(124)는, 하나 또는 그 초과와 유동 디바이스들(110) 각각을 직접 제어, 튜닝, 및/또는 최적화하기 위해 유동 센서(120) 및 조정가능한 밸브(122)에 직접 커플링된다.

[0019] 제어기(124)는, 예를 들어, 하나 또는 그 초과와 챔버 입력 소스들을 튜닝 또는 최적화하기 위해, 이를 테면, 기관 히터(114), 하나 또는 그 초과와 RF 전력 소스들(112), 배기 밸브(126)(하기에서 논의됨), 배기 밸브 히터(미도시), 또는 임의의 다른 적합한 프로세싱 소스와 같은, 하나 또는 그 초과와 프로세싱 소스들 중 다른 것들(others)을, 다양한 챔버 입력 소스들을 위한 임의의 중간 제어 디바이스들을 통하지 않고, 직접 제어할 수 있다. 하나 또는 그 초과와 유동 디바이스들(110)에 대해 상기 논의된 바와 같이, 제어기(124)에 의한 하나 또는

그 초과 프로세싱 소스들 각각의 직접적인 제어는, 이를 테면 온도, 압력 등과 같은 챔버 입력들의 변화들에 대해 보다 빠른 과도 응답을 용이하게 할 수 있다. 또한, 중앙화된 시스템 제어기(즉, 제어기(124))가 사용되기 때문에, 다양한 하나 또는 그 초과 프로세싱 소스들 각각을 위한 고유한 제어 접근법 대신에, 하나 또는 그 초과 프로세싱 소스들 각각에 대해 표준화된 제어 접근법이 사용될 수 있다.

[0020]

시스템(100)은, 프로세싱 용적(104)과 배기 시스템(130)의 배기 용적(128) 사이에 배치된 배기 밸브(126)를 더 포함할 수 있다. 배기 밸브(126)는, 이를 테면 게이트 밸브, 쓰로틀 밸브, 버터플라이 밸브, 펜듈럼(pendulum) 밸브 등과 같은, 기관 프로세싱 시스템들에서 사용되는 임의의 적합한 밸브일 수 있다. 배기 밸브(126)는, 배기 밸브(126)의 위치를 제어하기 위해, 모터화된 드라이브(motorized drive)(132)에 커플링된다. 예를 들어, 배기 밸브(126)의 위치 변화는, 이를 테면 배기 용적(128) 등에서, 더 낮은 압력의 영역에 대해 더 많은 또는 더 적은 노출을 조래할 수 있다. 더 낮은 압력의 영역은 배기 영역(128) 또는 배기 시스템(130)에 커플링되는 임의의 적합한 진공 펌프 또는 유사한 펌핑 디바이스(미도시)에 의해 생성될 수 있다.

[0021]

프로세싱 용적(104) 내의 압력은 하나 또는 그 초과 압력 게이지(gauge)들에 의해 모니터링될 수 있다. 예를 들어, 제1 압력 게이지(134)가 프로세싱 용적(104) 내의 제1 압력 범위(first range of pressure)를 측정하기 위해 사용될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 제1 압력 범위는 약 1 내지 약 10 Torr일 수 있다. 제2 압력 게이지(136)가 프로세싱 용적 내의 제2 압력 범위를 측정하기 위해 사용될 수 있다. 제2 압력 범위는 제1 압력 범위와 상이할 수 있는데, 예를 들어, 제1 또는 제2 압력 게이지들 중 하나는 높은 압력 게이지일 수 있으며 그리고 다른 하나는 더 낮은 압력 게이지일 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 제2 압력 범위는 약 10 내지 약 500 Torr일 수 있다. 제1 및 제2 압력 게이지들(134, 136)은, 예를 들어, 이온 게이지들, 열전대(thermocouple) 게이지들, 커패시턴스 게이지들, 변형(strain) 게이지들, 피라니(Pirani) 게이지들 등과 같은, 요구되는 압력 범위들을 측정하기 위한 임의의 적합한 압력 게이지들일 수 있다. 요구되는 경우, 상이한 압력 범위들을 모니터링하기 위한 추가적인 압력 게이지들이 또한 제공될 수 있다. 특정한 압력 범위들에 대해 튜닝된 복수의 압력 게이지들을 제공하게 되면, 유익하게는, 광범위한 압력들에 대해 단일 압력 게이지를 사용하는 것과 비교하여 프로세싱 시스템의 보다 정밀한 제어를 용이하게 할 수 있다. 예를 들어, 압력 게이지들은 배기 용적(128), 서셉터의 후면측 등을 모니터링하기 위해 제공될 수 있다.

[0022]

제1 및 제2 압력 게이지들(134, 136)은, 도 1에 도시된 바와 같이, 제어기(124)에 직접 커플링될 수 있다. 유사하게, 모터화된 드라이브(132)는 제어기(124)에 직접 커플링되어 제어기(124)에 의해 제어될 수 있다. 하나 또는 그 초과 유동 드라이브들(110)에 대해 상기 논의된 바와 같이, 모터화된 드라이브(132) 및 압력 게이지들(134, 136)의 구성은 종래의 기관 프로세싱 시스템과 상이할 수 있다. 예를 들어, 전형적인 기관 프로세싱 시스템들은, 압력 게이지들로부터의 압력 관독치(reading)들을 모니터링하기 위해 그리고 배기 밸브를 제어하는 모터화된 드라이브를 동작시키기 위해, 하나 또는 그 초과 중간 제어기들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 전형적인 기관 프로세싱 시스템에서, 압력 게이지들은 압력 제어기에 커플링될 수 있으며, 그리고 압력 제어기는 또한, 배기 밸브의 위치를 변화시키기 위해, 모터화된 드라이브를 제어하는 위치 제어기에 커플링될 수 있다. 하나 또는 그 초과 유동 디바이스들(110)에 대해 상기 논의된 것과 유사한 이유들로 인해, 이들 중간 제어기들(예를 들어, 압력 제어기 및 위치 제어기)은 제어기(124)로 대체된다. 예를 들어, 상기 이유들에 부가하여, 중간 제어기들의 제거는, 이를 테면 유량 등과 같은, 시스템의 상위 레벨(higher-level) 파라미터들을 고려(account for)하기 위해 사용될 수 있는 복잡한 모델 기반 제어를 가능하게 할 수 있다.

[0023]

제어기(124)는 중앙 프로세싱 유닛(CPU)(138), 메모리(140), 및 CPU(138)를 위한 지원 회로(support circuit)들(142)을 포함하고, 시스템(100)의 컴포넌트들의 제어를 용이하게 하며, 따라서, 하기에서 논의되는 방법(200)과 같은, 시스템을 제어하는 방법들의 제어를 용이하게 한다. 제어기(124)는, 다양한 챔버들 및 서브-프로세서들을 제어하기 위해 산업 환경(industrial setting)에서 사용될 수 있는 임의의 형태의 범용 컴퓨터 프로세서 중 하나일 수 있다. CPU(138)의 메모리, 즉 컴퓨터-관독가능 매체(140)는, 로컬 또는 원격의, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 관독 전용 메모리(ROM), 플로피 디스크, 하드 디스크, 또는 임의의 다른 형태의 디지털 저장장치와 같은 하나 또는 그 초과 용이하게 이용가능한 메모리일 수 있다. 지원 회로들(142)은 종래의 방식으로 프로세서를 지원하기 위해 CPU(138)에 커플링된다. 이러한 회로들은 캐시, 전력 공급부들, 클럭 회로들, 입/출력 회로망 및 서브시스템들 등을 포함한다. 상기 논의된 바와 같이, 제어기(124)는 유동 디바이스들, 모터화된 드라이브들, RF 전력 소스들, 기관 히터들, 배기 밸브 히터들, 모니터링 압력 게이지들을 직접 제어하기 위한 회로망 및/또는 서브시스템들, 및 기관 프로세싱 시스템의 다양한 컴포넌트들을 직접 제어하기 위한 임의의 적합한 회로망 및/또는 서브시스템들을 포함할 수 있다. 메모리(140)는, 본원에서 설명되는 본 발명의 실시예들에 따라 시스템(100)의 동작을 제어하기 위해 실행되거나 호출(invoked)될 수 있는 소프트웨어(소스 또는 오브젝트

코드)를 저장한다.

- [0024] 도 2는 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른, 기관 프로세싱 시스템을 제어하는 방법(200)에 대한 흐름 차트를 도시한다. 방법(200)은, 도 1에 도시된 기관 프로세싱 시스템(100)의 요소들 및 도 3에 도시된 커맨드 흐름도에 따라서 하기에서 설명된다. 그러나, 방법(200)은, 본원에 제공되는 가르침들에 따라, 다른 기관 프로세싱 시스템들에서 사용될 수 있다. 예를 들어, 도 3에 도시된 커맨드 흐름도는, 챔버(102) 내의 압력을 제어하기 위해 배기 밸브(126)의 위치를 조정하기 위한 예시적인 커맨드 흐름을 도시하는 예시적인 다이어그램이다. 예를 들어, 이를 태면 시스템 모델(302) 및 압력 프로파일 생성기(304)와 같은, 커맨드 흐름도의 몇몇 요소들은, 제어기(124)의 메모리(140) 내에, 또는 제어기(124) 또는 프로세스 시스템(100)의 다른 제어기들에 의해 액세스가능한 임의의 적합한 컴퓨터-판독가능 매체 내에 배치될 수 있다.
- [0025] 방법(200)은, 202에서, 프로세싱 용적(104) 내의 압력과 배기 밸브(126)의 위치 사이의 관계를 프로세스 파라미터의 함수로서 미리 결정함으로써 시작된다. 예를 들어, 프로세스 파라미터는, 상기 논의된 바와 같이, RF 전력의 크기, 프로세스 가스의 유량, 챔버 컴포넌트의 온도 등 중에서 하나 또는 그 초과일 수 있다.
- [0026] 예를 들어, 프로세싱 용적(104) 내의 압력과 배기 밸브(126)의 위치 사이의 관계를 미리 결정하는 것은, 미리 결정된 관계를 결정하기 위해 배기 밸브(126)를 통한 가스 유동을 프로세스 파라미터의 함수로서 모델링하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 미리 결정된 관계는, 챔버 압력(P_C), 미분 챔버 압력(dP_C/dt), 챔버 온도(T_C), 챔버 용적(V_C), 또는 유량과 같은 프로세스 파라미터 중 하나 또는 그 초과를 입력들로서, 그리고 배기 밸브(126)의 위치(θ_C)를 출력으로서 갖는, 배기 밸브(126)에 대한 모델(예를 들어, 시스템 모델(302))일 수 있다. 예를 들어, 미분 챔버 압력은, 챔버 용적(V_C) 내로의 모든 유량들의 합과 챔버 용적(V_C)에서 나오는 모든 유량들의 합 사이의 차이(difference)를 챔버 용적(V_C)으로 나눈 것으로 근사(approximate)될 수 있다. 시스템 모델(302)은 단일 용적 모델일 수 있다. 예를 들어, 단일 용적 모델에서, 모델링될 수 있는 시스템 내의 유일한 컨덕턴스는 배기 밸브(126)의 컨덕턴스일 수 있다. 예를 들어, 단일 용적 모델에서, 추가적인 컴포넌트들의 컨덕턴스는 배기 밸브(126)의 컨덕턴스로 일괄하여 처리될(lumped) 수 있다.
- [0027] 대안적으로, 시스템 모델(302)은 각각의 용적을 분리하는 상이한 컨덕턴스들을 갖는 다중-용적(multi-volume) 모델일 수 있다. 예를 들어, 다중-용적 모델의 분리된(separate) 용적들은 가스 라인, 샤워헤드, 프로세스 챔버, 포어라인, 배기 밸브 등 중에서 하나 또는 그 초과에 대한 것일 수 있다. 분리된 용적들 각각은 튜브, 오리피스(orifice) 등으로서 모델링될 수 있다. 예를 들어, 다중-용적 모델이 근사될 수 있는 실제 시스템에서, 실제 시스템의 각각의 용적 내의 압력을 측정하기가 어려울 수 있다. 따라서, 분리된 용적들 각각을 통한 가스 유량들을 계산하는 것이 가능하지 않을 수도 있다. 이들 문제들을 극복하기 위해, 본 발명자들은, 시간에 걸쳐서(over time) 분리된 용적들 각각 내의 압력의 추정치(estimate)들을 유지하기 위해 시스템 다이내믹스 모델(system dynamics model)이 이용될 수 있는 것으로 가정(postulate)한다. 예를 들어, 시스템 다이내믹스 모델은, 각각의 용적 내의 압력의 변화의 현재의 압력 미분값(differential) 또는 레이트를 추정하기 위해, 각각의 용적 내로의 현재의 유량 및 각각의 용적으로부터 나오는 현재의 유량을 이용할 수 있다. 이러한 현재의 압력 미분값은 연속적인(successive) 시간 단계(time step)에서 분리된 용적들 각각 내의 압력에 대한 새로운 추정치를 계산하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 시스템 다이내믹스 모델은, 개별적인 압력 측정들이 가능하지 않은 분리된 용적들 각각에 대해, 도 3의 커맨드 흐름도의 시스템 모델(302) 및 압력 프로파일 생성기(304) 중 하나 또는 그 초과에 압력 추정치들을 제공할 수 있다.
- [0028] 예를 들어, 시스템 모델(302)에서, 배기 밸브(126)는 콕된(choked) 오리피스, 콕되지 않은(unchoked) 오리피스 등 중에서 하나 또는 그 초과로서 모델링될 수 있다. 예를 들어, 배기 밸브(126)는, 가스 유량이 밸브 위치 및 챔버 압력과 관련되어 있는 - 콕된 또는 콕되지 않은 - 근사된 오리피스로서 모델링될 수 있다. 대안적으로, 예를 들어, 가스 유량을 챔버 압력에 관련시키는 모델과 같은 유효 면적 모델(effective area model)이 배기 밸브(126)에 대한 모델로서 사용될 수 있다. 배기 밸브(126)를 통한 가스 유동을 위한 적합한 모델이 선택되면, 하나 또는 그 초과 미지의(unknown) 파라미터들을 결정하기 위해 시스템 모델(302)이 경험적으로(empirically) 풀릴(solve) 수 있다. 예를 들어, 하나 또는 그 초과 미지의 파라미터들은, 프로세스 챔버(102)의 특정 기하형상(geometry), 챔버 용적, 밸브 각도의 함수로서의 배기 밸브의 유효 개방 면적(effective open area), 압력에 따른 밸브의 컨덕턴스 변화 등에 대해 특정할 수 있다. 시스템 모델(302)을 경험적으로 풀거나, 또는 프로세싱 용적 내의 압력과 배기 밸브(126)의 위치 사이의 관계를 미리 결정하기 위한 하나의 예시적인 방법은, 도 4에 도시된 흐름 차트에 의해 설명된다.

- [0029] 도 4는 프로세싱 용적(104) 내의 압력과 배기 밸브(126)의 위치 사이의 관계를 미리 결정하기 위한 하나의 예시적인 방법(400)의 흐름 차트를 도시한다. 예를 들어, 방법(400)은, 상기 논의된 바와 같은 배기 밸브(126)에 대한 모델을 포함하는 시스템 모델(302)을 선택함으로써 시작된다. 402에서, 배기 밸브(126)는 개방 위치로 설정될 수 있다. 예를 들어, 배기 밸브(126)의 개방 위치는 배기 밸브(126)에 의해 도달될 수 있는 완전 개방 위치(full open position), 또는 프로세스 챔버(102)에서 프로세싱 동안에 이용될 임의의 적합한 최대 개방 위치일 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 배기 밸브의 개방 위치는 챔버(102) 내의 기저 압력(base pressure)이 약 0.1 Torr 또는 그 미만이도록 설정될 수 있다.
- [0030] 404에서, 개방 위치가 설정되었고 챔버 압력이 안정화되었으면, 프로세스 파라미터는 제1 테스트 값으로 설정될 수 있다. 예를 들어, 제1 테스트 값은 유량과 같은 단일 프로세스 파라미터, 또는 유량, 온도, RF 전력 등과 같은 다수의 프로세스 파라미터들, 상기 열거된 프로세스 파라미터들의 그러한 적합한 조합일 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 제1 테스트 값은 제1 프로세스 가스의 제1 유량일 수 있다.
- [0031] 예를 들어, 404에서, 챔버 압력은 정상 상태 접근법(steady state approach) 또는 과도 접근법(transient approach)에 의해 모니터링될 수 있다. 예를 들어, 정상 상태 접근법에서, 배기 밸브(126)가 개방 위치에 있을 때, 챔버 압력은 제1 테스트 값(예를 들어, 제1 프로세스 가스의 제1 유량)에서 안정화되도록 허용될 수 있다. 이후, 조건들이 안정화되었으면, 챔버 압력이 기록될 수 있다. 정상 상태 접근법은 이후, 하기에서 논의되는 406으로 진행할 수 있다. 예를 들어, 과도 접근법에서, 밸브(126)가 개방 위치로 설정될 때 챔버가 기저 압력에서 안정화되었으면, 프로세스 파라미터는 제1 테스트 값으로 설정될 수 있고, 챔버 압력은 제1 시간 기간, 예를 들어, 약 15 초에 걸쳐 모니터링될 수 있다. 제1 시간 기간의 끝에서, 프로세스 파라미터, 예를 들어, 제1 유량에서의 제1 프로세스 가스의 유동이 턴오프(turn off)될 수 있고, 챔버는 기저 압력에서 재안정화되도록 허용될 수 있으며, 이후 과도 접근법은 하기에서 논의되는 406으로 진행할 수 있다. 예를 들어, 과도 접근법에서, 각각의 밸브 위치에 대해 압력 응답 곡선이 생성될 수 있다.
- [0032] 406에서, 배기 밸브(126)의 위치는 배기 밸브(126)의 개방 위치로부터 폐쇄 위치로 복수의 중간 위치들을 통해 반복적으로 이동될 수 있다. 복수의 중간 위치들 각각에 있는 동안, 프로세싱 용적 내의 압력이 안정화되도록 허용될 수 있다. 배기 밸브(126)의 복수의 중간 위치들 각각에서의 대응하는 압력 또는 압력 응답 곡선이 제1 테스트 값에서 프로세스 파라미터에 대해 기록될 수 있다. 중간 위치들의 범위가 폐쇄 위치에서 종료될 필요는 없다. 예를 들어, 요구되는 챔버 조건들을 생성하기 위해 챔버 동작 등의 동안에 전형적으로 사용되는 위치들과 같은, 배기 밸브(126)을 위한 임의의 적합한 위치들의 범위가 이용될 수 있다.
- [0033] 408에서, 프로세스 파라미터에 대한 복수의 테스트 값들을 사용하여, 단계들(402-406)이 반복될 수 있다. 예를 들어, 복수의 대응하는 압력들 또는 압력 응답 곡선들이 복수의 테스트 값들의 함수로서 복수의 중간 위치들에서 기록되었으면, 하나 또는 그 초과 미지의 파라미터들을 결정함으로써 시스템 모델(302)이 풀릴 수 있다. 예를 들어, 시스템 모델(302)은, 예를 들어 비-선형 최적화 방법 등을 사용하는 것과 같이, 경험적으로 풀릴 수 있다. 예를 들어, 배기 밸브(126)가 정상 상태 접근법 또는 과도 접근법을 사용하여 오리피스로서 모델링될 때에는, 비-선형 최적화 방법이 시스템 모델(302)을 풀기 위해 필요할 수 있다. 대안적으로, 예를 들어, 시스템 모델(302)이 배기 밸브(126)에 대해 유효 면적 모델을 사용할 때, 미지의 파라미터들의 개수가 배기 밸브(126)에 대한 다른 모델들에 비해 감소될 수 있으며 그리고 시스템 모델(302)은 미지의 파라미터들에 대해 직접 풀릴 수 있다. 따라서, 상기 논의된 바와 같이 시스템 모델(302)이 풀렸으면, 프로세스 파라미터의 함수로서의, 프로세싱 용적(104) 내의 압력과 배기 밸브(126)의 위치 사이의 미리 결정된 관계(예를 들어, 풀린(solved) 시스템 모델(302))가 챔버 프로세스들을 위해 사용될 수 있다.
- [0034] 프로세싱 용적(104) 내의 압력과 배기 밸브(126)의 위치 사이의 관계를 미리 결정하기 위한 방법(400)은 단지 예시적인 것이며 그리고 다른 적합한 방법들이 가능할 수 있다. 방법(400) 또는 유사한 방법은, 초기 챔버 스타트업, 스케줄링된 챔버 유지보수(scheduled chamber maintenance), 프로세스 가스 타입의 변경, 프로세스 레시피의 변경, 시스템 컴포넌트들의 변경 중 어느 하나 또는 그 초과 동안에, 주기적으로, 랜덤하게 등으로 수행될 수 있다.
- [0035] 도 2로 돌아가면, 미리 결정된 관계가 결정된 후, 방법(200)은 204로 진행할 수 있으며, 204에서 프로세스 챔버(102)는 프로세싱 용적(104) 내의 제1 압력 및 프로세스 파라미터의 제1 값을 갖는 제1 상태로 설정될 수 있다. 예를 들어, 제1 상태를 얻기 위해, 배기 밸브(126)는 프로세스 파라미터의 제1 값에서 프로세싱 용적 내의 제1 압력을 생성하기 위해 미리 결정된 관계에 기초하여 제1 위치로 설정될 수 있다. 제1 값은, 상기 논의된 바와 같이, 예를 들어 유량과 같은 단일 프로세스 파라미터, 또는 예를 들어 유량, 온도, RF 전력의 크기 등과 같은

많은 프로세스 파라미터들을 나타낼 수 있다.

- [0036] 206에서, 프로세스 챔버(102)가 제1 상태에서부터 제2 상태 - 제2 상태는 제2 압력 및 프로세스 파라미터의 제2 값을 가짐 - 로 설정됨에 따라, 프로세싱 용적(104) 내의 압력을 제어하기 위해 압력 제어 프로파일이 결정될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 제2 압력은 제1 압력과 동일할 수 있으며, 그리고 제2 값은 제1 값과 상이할 수 있다. 대안적으로, 몇몇 실시예들에서, 제1 압력 및 제2 압력은 상이할 수 있으며, 그리고 프로세스 파라미터의 제1 값 및 제2 값은 제1 상태와 제2 상태 사이에서 상이할 수 있다. 프로세스 챔버의 제1 상태 및 제2 상태의 실시예들에 대한 압력 제어 프로파일의 실시예들은 하기에서 논의된다.
- [0037] 예를 들어, 압력 제어 프로파일은, 제1 압력, 제2 압력, 제1 값, 제2 값, 및 제1 위치를 입력 파라미터들로서 사용하는 모델 기반 제어 알고리즘(예를 들어, 압력 제어 생성기(304))에 의해 생성될 수 있다. 압력 제어 프로파일을 결정하기 위한 하나의 예시적인 방법(500)이, 도 5에 도시된 흐름 차트에 예시되어 있다. 방법(500)은 단지 예시적인 것이며, 그리고 압력 제어 프로파일을 생성하기 위한 다른 방법들이 가능하다.
- [0038] 방법(500)은, 502에서, 프로세스 챔버(102)가 제2 상태로 설정될 때 프로세스 파라미터의 제2 값에서 프로세싱 용적(104) 내에 제2 압력을 생성할 배기 밸브(126)의 제2 위치를 미리 결정된 관계로부터 결정함으로써 시작된다. 예를 들어, 프로세싱 용적(104) 내에 제2 압력을 생성하는 제2 위치는, 예를 들어, 메모리(140)로부터 쉽게 이용가능하고 액세스가능할 수 있거나, 또는 대안적으로는, 미리 결정된 관계로부터 배기 밸브(126)의 제2 위치를 결정하기 위해 프로세스 파라미터의 제2 값 및 제2 압력을 시스템 모델(302)에 입력들로서 입력함으로써 컴퓨팅될(computed) 수 있다.
- [0039] 504에서, 제2 압력이 제1 압력보다 클 때, 폐쇄 위치로부터 제2 위치로 배기 밸브(126)를 이동시키기 위해 요구되는 제1 시간이 계산될 수 있다. 예를 들어, 제2 압력이 제1 압력보다 클 때, 배기 밸브(126)를 제2 위치로 이동시키기 전에 배기 밸브(126)를 폐쇄 위치로 이동시킴으로써, 제1 압력으로부터 제2 압력으로서의 요구되는 압력 증가가 더 높은 레이트에서 달성될 수 있다. 제1 시간은 배기 밸브(126)가 이동하는 레이트 및 밸브(126)가 폐쇄 위치로부터 제2 위치로 이동해야하는 거리로부터 계산될 수 있다.
- [0040] 대안적으로, 제2 압력이 제1 압력보다 작을 때, 배기 밸브를 개방 위치로부터 제2 위치로 이동시키기 위해 요구되는 제2 시간이 계산될 수 있다. 예를 들어, 개방 위치는 배기 밸브(126)의 완전 개방 위치일 수 있다. 예를 들어, 배기 밸브(126)를 제2 위치로 이동시키기 전에 배기 밸브(126)를 개방 위치로 이동시킴으로써, 제1 압력으로부터 제2 압력으로서의 요구되는 압력 감소가 더 높은 레이트에서 달성될 수 있다. 제2 시간은 배기 밸브(126)가 이동하는 레이트 및 밸브(126)가 개방 위치로부터 제2 위치로 이동해야하는 거리로부터 계산될 수 있다.
- [0041] 506에서, 트리거 압력이 계산될 수 있다. 트리거 압력은, 제2 압력이 제1 압력보다 클 때 배기 밸브(126)가 폐쇄 위치로부터 제2 위치로 이동하기 시작하는 압력일 수 있다. 대안적으로, 트리거 압력은, 제2 압력이 제1 압력보다 작을 때 배기 밸브(126)가 개방 위치로부터 제2 위치로 이동하기 시작하는 압력일 수 있다. 예를 들어, 트리거 압력은, 이를 테면 $P_{tg} = P_{cmd} - dP_{tg}/dt(T/2)$ 와 같은 방정식(equation)을 푸는 것에 의해 결정될 수 있으며, 여기서 P_{tg} 는 트리거 압력이고, P_{cmd} 는 제2 압력이고, dP_{tg}/dt 는 트리거 압력에서의 압력 미분값이고, T는 상기 논의된 바와 같은 제1 또는 제2 시간이다. 예를 들어, 트리거 압력에서의 압력 미분값은 트리거 압력에 대한 각각의 추정된 값에서의 압력 미분값에 대해 시스템 모델(302)을 풀어서 결정될 수 있다. 트리거 압력에 대한 방정식은, 이를 테면 비-선형 최적화 등과 같은 임의의 적합한 방법들에 의해 풀릴 수 있다.
- [0042] 예를 들어, 트리거 압력이 초과되지 않았을 때, 트리거 압력에서의 초기 조건들의 세트 및 제2 압력에서의 최종 조건들의 세트를 사용하여 압력과 시간 사이의 제2 관계가 결정될 수 있다. 예를 들어, 제2 관계를 결정하는 것은 트리거 압력에서의 초기 조건의 세트 및 제2 위치에서 최종 조건들의 세트를 사용하여 다항 방정식(polynomial equation)을 푸는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 다항 방정식은, 시간의 함수로서의, 압력에 대한 2차 다항 방정식일 수 있다. 그러나, 다른 더 높은 차수의 다항 방정식들, 또는 다른 타입들의 방정식들이 사용될 수 있다.
- [0043] 예를 들어, 트리거 압력이 초과되지 않았고 그리고 제2 압력이 제1 압력보다 클 때, 트리거 압력에서의 초기 조건들의 세트는 시간 (t) = 0, 압력 (P) = 트리거 압력 (P_{tg}), 및 압력 미분값 (dP/dt) = 트리거 압력에서의 압력 미분값 (dP_{tg}/dt) 일 수 있고, 최종 조건들의 세트는 $t = 504$ 에서 계산된 제1 시간, $P =$ 제2 압력, 및 $dP/dt = 0$ 일 수 있다. 제2 압력이 제1 압력보다 작을 때, 유사한 초기 및 최종 조건들의 세트가 다항 방정식을 풀기

위해 사용될 수 있으며, 여기서 최종 조건들의 세트는 $t = 504$ 에서 계산된 제2 시간, $P =$ 제2 압력, 및 $dP/dt = 0$ 일 수 있다. 따라서, 다항 방정식을 풀게 되면, 트리거 압력이 초과되지 않았을 때 제2 압력이 제1 압력보다 큰 경우 또는 제2 압력이 제1 압력보다 작은 경우에 대해, 트리거 압력과 제2 압력 사이에 압력 제어 프로파일이 결정되었다.

[0044] 대안적으로, 트리거 압력이 초과되었을 때, 압력 제어 프로파일을 결정하는 것은 배기 밸브를 제1 위치로부터 제2 위치로 이동시키기 위해 요구되는 제3 시간을 계산하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제3 시간은 배기 밸브(126)가 이동하는 레이트 및 밸브(126)가 제1 위치로부터 제2 위치로 이동해야 하는 거리로부터 계산될 수 있다. 예를 들어, 트리거 압력이 초과되지 않았던 상기 논의된 실시예들과는 달리, 밸브(126)는 압력 제어 프로파일에 의해 제1 위치로부터 제2 위치로 직접 이동할 수 있다. 예를 들어, 트리거 압력이 초과되지 않았을 때, 개방 또는 폐쇄 위치와 제2 위치 사이에 압력 제어 프로파일이 결정될 수 있다.

[0045] 트리거 압력이 초과되었을 때, 제1 압력에서의 초기 조건들의 세트 및 제2 압력에서의 최종 조건들의 세트를 사용하여 압력과 시간 사이의 제2 관계가 결정될 수 있다. 예를 들어, 제2 관계를 결정하는 것은 제1 압력에서의 초기 조건들의 세트 및 제2 위치에서의 최종 조건들의 세트를 사용하여 다항 방정식을 푸는 것을 포함할 수 있다.

[0046] 예를 들어, 트리거 압력이 초과되었을 때, 제1 압력에서의 초기 조건들의 세트는 $t = 0$, $P =$ 제1 압력 및 $dP/dt = 2(\text{제2 압력} - \text{제1 압력})/\text{제3 시간}$ 일 수 있고, 최종 조건들의 세트는 $t =$ 제3 시간, $P =$ 제2 압력, 및 $dP/dt = 0$ 일 수 있다. 따라서, 다항 방정식을 풀게 되면, 트리거 압력이 초과되었을 때 제2 압력이 제1 압력보다 큰 경우 또는 제2 압력이 제1 압력보다 작은 경우에 대해, 제1 압력과 제2 압력 사이에 압력 제어 프로파일이 결정되었다.

[0047] 도 2로 돌아가면, 208에서, 프로세스 챔버(102)를 제1 상태에서부터 제2 상태로 설정하는 동안 배기 밸브(126)의 위치를 변화시킴으로써, 상기 결정된 압력 제어 프로파일이 프로세싱 용적 내의 압력을 제어하기 위해 적용될 수 있다. 예를 들어, 도 6은 본 발명의 몇몇 실시예들에 따른, 압력 제어 프로파일을 적용하기 위한 하나의 예시적인 방법(600)에 대한 흐름 차트를 도시한다.

[0048] 예를 들어, 방법(600)은, 트리거 압력이 초과되지 않았을 때, 제2 압력이 제1 압력보다 클 때에는 배기 밸브(126)를 폐쇄 위치로 설정함으로써, 또는 제2 압력이 제1 압력보다 작을 때에는 배기 밸브(126)를 개방 위치로 설정함으로써, 602에서 시작될 수 있다. 상기 논의된 바와 같이, 폐쇄 위치 또는 개방 위치는 보다 높은 압력 변화 레이트를 달성하기 위해 이용될 수 있다.

[0049] 604에서, 제2 압력이 제1 압력보다 클 때 그리고 트리거 압력에 도달했을 때, 결정된 제2 관계(예를 들어, 압력 제어 프로파일)에 기초하여 배기 밸브(126)가 제1 시간에 걸쳐 폐쇄 위치로부터 제2 위치로 이동될 수 있거나, 또는 제2 압력이 제1 압력보다 작을 때 그리고 트리거 압력에 도달했을 때, 결정된 제2 관계에 기초하여 배기 밸브(126)가 제2 시간에 걸쳐 개방 위치로부터 제2 위치로 이동될 수 있다.

[0050] 예를 들어, 제1 시간에 걸쳐 배기 밸브(126)를 폐쇄 위치로부터 제2 위치로 이동시키는 것은, 배기 밸브(126)를 복수의 중간 위치들을 통해 배기 밸브(126)의 폐쇄 위치로부터 제2 위치로 반복적으로 이동시키는 것을 포함할 수 있다. 각각의 중간 위치는, 대응하는 중간 압력 및 대응하는 중간 압력 미분값을 미리 결정된 관계에서의 입력들로서 사용하여, 미리 결정된 관계로부터 결정될 수 있으며, 여기서 대응하는 중간 압력 및 대응하는 중간 압력 미분값은 압력이 트리거 압력에 도달했을 때의 초기 시간과 제1 시간 사이의 대응하는 중간 시간에 제2 관계를 사용하여 결정된다.

[0051] 유사하게, 제2 시간에 걸쳐 배기 밸브(126)를 개방 위치로부터 제2 위치로 이동시키는 것은, 배기 밸브(126)를 복수의 중간 위치들을 통해 배기 밸브(126)의 개방 위치로부터 제2 위치로 반복적으로 이동시키는 것을 포함할 수 있다. 각각의 중간 위치는, 대응하는 중간 압력 및 대응하는 중간 압력 미분값을 미리 결정된 관계에서의 입력들로서 사용하여, 미리 결정된 관계로부터 결정될 수 있으며, 여기서 대응하는 중간 압력 및 대응하는 중간 압력 미분값은 압력이 트리거 압력에 도달했을 때의 초기 시간과 제2 시간 사이의 대응하는 중간 시간에 제2 관계를 사용하여 결정된다.

[0052] 대안적으로, 트리거 압력이 초과되었을 때, 배기 밸브(126)는 상기 논의된 바와 같이 결정된 제2 관계에 기초하여 제3 시간에 걸쳐 제1 위치로부터 제2 위치로 이동될 수 있다.

[0053] 예를 들어, 제3 시간에 걸쳐 배기 밸브(126)를 제1 위치로부터 제2 위치로 이동시키는 것은, 배기 밸브(126)를 복수의 중간 위치들을 통해 배기 밸브(126)의 제1 위치로부터 제2 위치로 반복적으로 이동시키는 것을 포함할

수 있다. 각각의 중간 위치는, 대응하는 중간 압력 및 대응하는 중간 압력 미분값을 미리 결정된 관계에서의 입력들로서 사용하여, 미리 결정된 관계로부터 결정될 수 있으며, 여기서 대응하는 중간 압력 및 대응하는 중간 압력 미분값은 배기 밸브가 제1 위치에 있을 때의 초기 시간과 제3 시간 사이의 대응하는 중간 시간에 제2 관계를 사용하여 결정된다.

[0054]

동작시, 방법(600)의 실시예들은 도 3에 도시된 예시적인 커맨드 흐름도를 사용하여 구현될 수 있다. 예를 들어, 압력 프로파일은 압력 프로파일 생성기(304)에 의해 상기 논의된 바와 같이 결정될 수 있다. 트리거 압력에 도달했거나 트리거 압력이 초과되었을 때, 압력 프로파일 생성기(304)는 시스템 모델(302)에 대한 입력들로서 사용될 수 있는 커맨드 압력(P_{cmd}) 및 압력 미분값(P_{cmd}/dt)을 각각의 중간 시간에 출력할 수 있다. 시스템 모델(302)(즉, 미리 결정된 관계)은 배기 밸브(126)에 대한 커맨드 위치(Θ_{cmd})를 결정하기 위해 프로세스 파라미터 뿐만 아니라 P_{cmd} 및 P_{cmd}/dt 를 입력들로서 사용한다. 커맨드 위치(Θ_{cmd})는, 배기 밸브(126)의 위치를 폐쇄, 개방, 또는 제1 위치들과 제2 위치 사이의 중간 위치로 변경하기 위해, 모터화된 드라이브(132)에 입력될 수 있다. 챔버(102) 내의 압력은 배기 밸브(126)의 중간 위치에서 측정될 수 있고, 커맨드 압력, P_{cmd} 와 비교될 수 있다. 측정된 압력과 커맨드 압력 사이의 차이가, 요구되는 공차(tolerance) 레벨 내에 들어오지 않으면, 요구되는 공차 레벨을 달성하기 위해, 배기 밸브(126)의 커맨드 위치(Θ_{cmd}) 및/또는 커맨드 압력(P_{cmd})이 표준 비례-적분-미분(PID) 제어 기법(306)에 의해 조정될 수 있다. 동작은, 제1, 제2, 또는 제3 시간들에 걸쳐 제2 위치에 도달할 때까지 계속해서 반복된다.

[0055]

대안적으로, 몇몇 실시예들에서, 제2 압력은 제1 압력과 동일할 수 있으며, 그리고 제1 값은 프로세스 파라미터들의 제2 값과 상이할 수 있다. 따라서, 그러한 실시예에서, 커맨드 압력은 일정할(constant) 수 있으며, 그리고 미분 압력은 0일 수 있다(즉, 압력 제어 프로파일이 평탄할 수 있다). 압력 제어 프로파일이 평탄한 실시예들에서, 제1 위치로부터 제2 위치로의 배기 밸브(126)의 이동은 미리 결정된 관계(즉, 시스템 모델(302))에 의해 제어될 수 있다. 또한, 프로세스 파라미터의 제1 값이 제2 값으로 변하기 때문에, 프로세싱 용적(104) 내에서 일정한 압력을 유지하기 위해서는, 제1 위치로부터 제2 위치로의 배기 밸브(126)의 이동이 필요할 수 있다. 예를 들어, 제1 상태와 제2 상태 사이에서 압력이 일정하고 제1 값이 프로세스 파라미터의 제2 값과 상이할 때, 배기 밸브(126)를 이동시키는 것은 배기 밸브(126)를 복수의 중간 위치들을 통해 배기 밸브(126)의 제1 위치로부터 제2 위치로 반복적으로 이동시키는 것을 포함할 수 있다. 각각의 중간 위치는, 일정한 압력 및 프로세스 파라미터의 대응하는 중간 값을 미리 결정된 관계에서의 입력들로서 사용하여, 미리 결정된 관계로부터 결정될 수 있다. 대응하는 중간 값은 프로세스 파라미터의 제1 값과 제2 값 사이일 수 있다. 대안적으로, 제1 값 및 제1 위치는, 복수의 중간 값들을 통해 점진적으로 변하지 않으면서, 제2 값 및 제2 위치로 급격하게 변할 수 있다.

[0056]

압력 제어 프로파일을 결정하고 적용하는 방법(600)에 대한 대안적인 방법들이 가능하다. 예를 들어, 대안적인 방법은 배기 밸브(126)에 의해 달성가능한 최대 속도 또는 가속도(acceleration)에 기초할 수 있다. 예를 들어, 이러한 대안적인 방법은, 제2 압력이 달성되는 거의 정확한 순간에 배기 밸브(126)가 제2 위치에 도달하도록, 배기 밸브(126)를 최대 속도 또는 가속도로 (제1 및 제2 압력들의 상대 값들에 따라) 개방 또는 폐쇄 위치를 향해 이동시키고 이후 배기 밸브(126)를 제2 위치로 다시 이동시킴으로써, 챔버 압력에 있어서 최대 변화 레이트가 달성될 수 있다는 이유로, 기능할 수 있다. 예를 들어, 제1 압력으로부터 제2 압력으로 변화하는 동안, 배기 밸브(126)가 완전 개방 또는 폐쇄 위치에 도달하면, 배기 밸브(126)는 제2 위치로 이동하기 전에 가능한 한 오랫동안 개방 또는 폐쇄 위치에 남아있어야 한다. 예를 들어, 이러한 대안적인 방법은 시스템(100)에 대한 응답을 시뮬레이팅(simulating)하기 위해 상기 논의된 바와 같은 시스템 다이내믹스 모델을 요구할 수 있다. 예를 들어, 이러한 대안적인 방법은 압력 제어 프로파일을 결정하기 위해 반복적 접근법(iterative approach)을 요구할 수 있다. 예를 들어, 밸브 모션 프로파일(valve motion profile)이 가정될 수 있으며, 그리고 결과적인 압력 응답은 시스템 다이내믹스 모델을 사용하여 시뮬레이팅될 수 있다. 밸브 모션 프로파일은, 요구되는 압력 응답이 달성될 때 까지, 하나 또는 그 초과 반복들에 대한 결과적인 압력 응답을 기초로 개선(refine)될 수 있다. 이러한 대안적인 방법은 온라인 또는 오프라인으로 수행될 수 있다. 예를 들어, 완료하기 위해 일 초 또는 그보다 긴 초(one or more seconds)를 요구할 수 있는 계산의 복잡도에 따라, 압력 프로파일을 결정하기 위한 이러한 대안적인 방법은 오프라인으로 수행될 수 있다.

[0057]

이와 같이, 본원에서는 모델 기반 제어를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한 방법들 및 장치가 제공된다. 본 발명의 방법들 및 장치의 실시예들은 유익하게는, 이를 테면, 프로세싱 조건들 등의 변화의 결과로서 챔버 압력이 변화되었을 때 챔버 압력을 새로운 세트포인트 값으로 안정화시키는 것과 같은, 보다 빠른 과도 응답을 제공

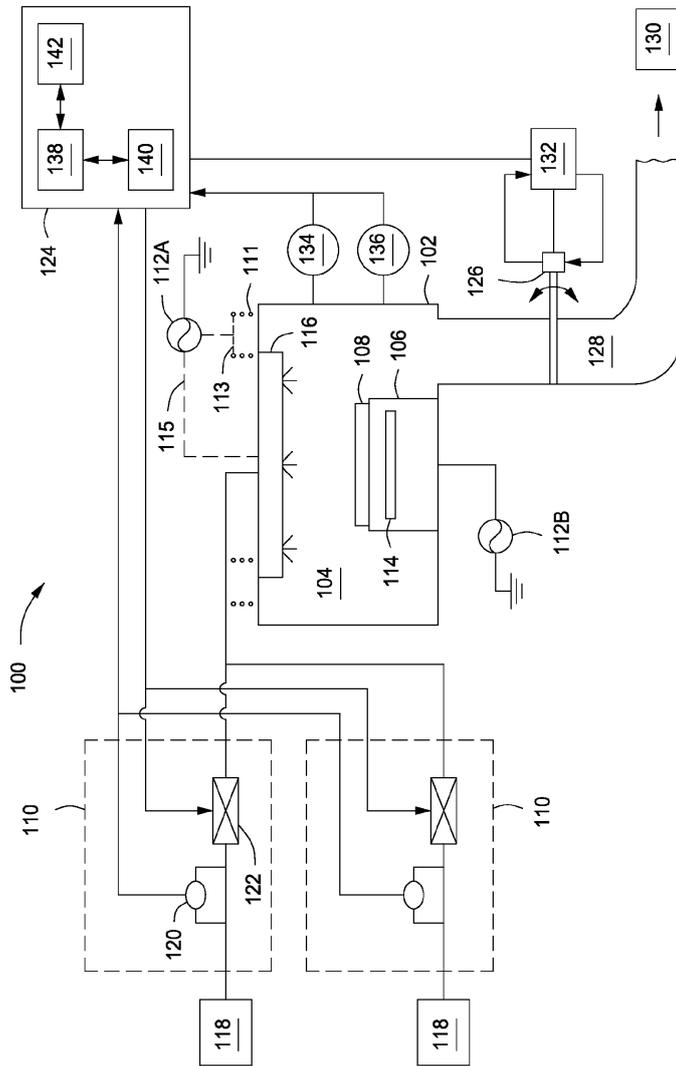
할 수 있다. 또한, 본 발명의 방법들 및 장치는 유익하게는, 기관 프로세싱 시스템 내에서의 프로세스 변화들의 예측을 용이하게 할 수 있다. 예측, 또는 피드-포워드 제어는 유익하게는, 보다 효율적인 기관 프로세싱 및 /또는 보다 높은 처리량을 용이하게 할 수 있다. 본 발명의 방법들은 시스템들 사이의 개선된 챔버 매칭을 용이하게 할 수 있다.

[0058]

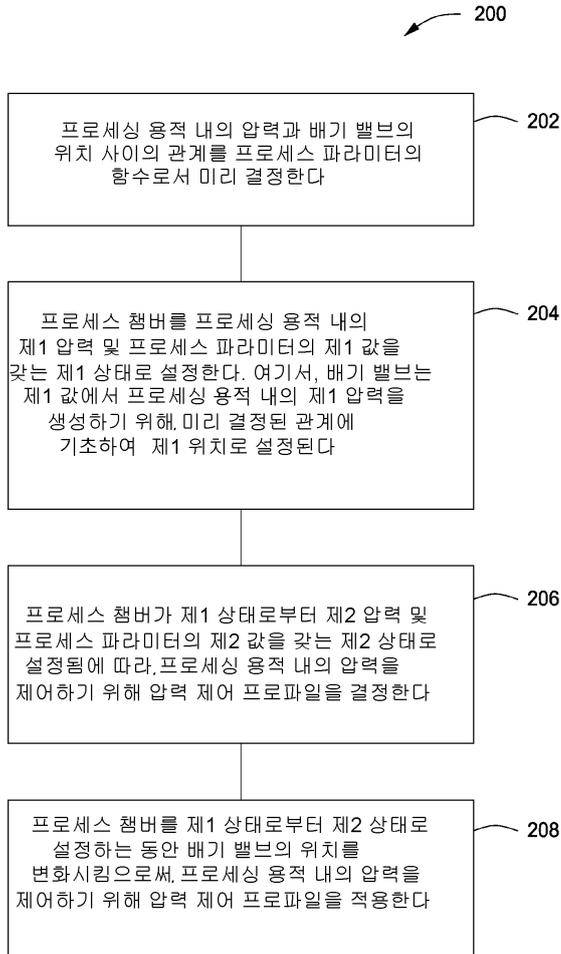
전술한 내용은 본 발명의 실시예들에 관한 것이지만, 본 발명의 다른 및 추가적인 실시예들이 본 발명의 기본 범위를 벗어나지 않으면서 안출될 수 있다.

도면

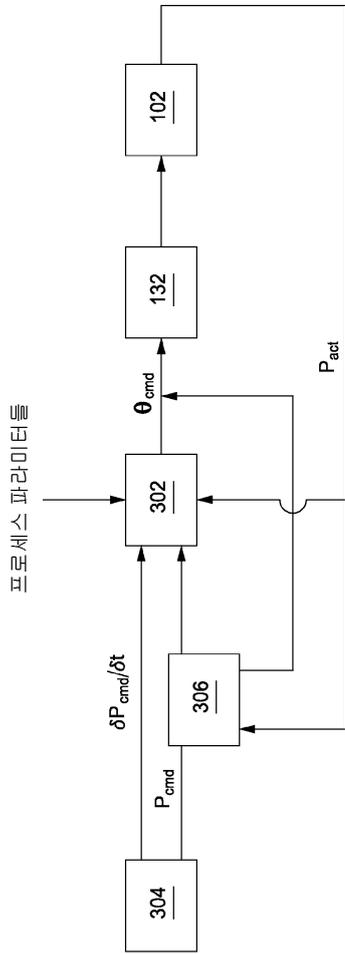
도면1



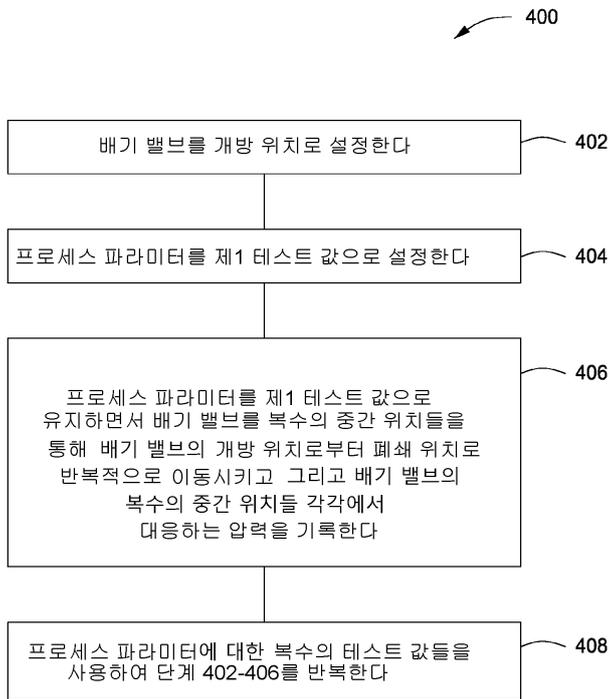
도면2



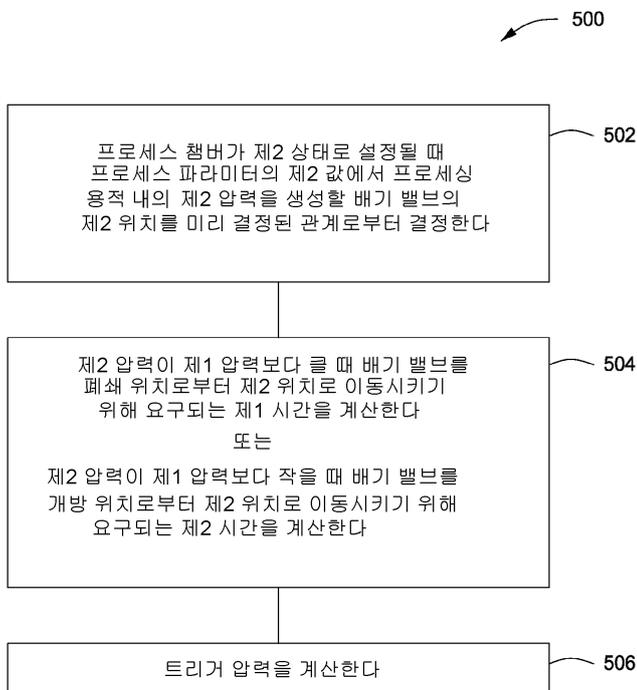
도면3



도면4



도면5



도면6

