(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년04월15일
(11) 등록번호 10-2796445
(24) 등록일자 2025년04월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01F 1/48 (2006.01) *G01F 1/84* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01F 1/48 (2022.01)
G01F 1/8445 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7031652
(22) 출원일자(국제) 2019년04월02일
심사청구일자 2022년03월31일
(85) 번역문제출일자 2020년11월02일
(65) 공개번호 10-2020-0130473
(43) 공개일자 2020년11월18일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/025389
(87) 국제공개번호 WO 2019/195292
국제공개일자 2019년10월10일
(30) 우선권주장
62/652,019 2018년04월03일 미국(US)
62/673,382 2018년05월18일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2004517396 A*
JP2014089205 A*
WO2017123089 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
(72) 발명자
샤리프, 이크발 에이.
미국, 94555 캘리포니아, 프레몬트, 헤론 플레이스 4055
스미스, 데니스
미국, 95120 캘리포니아, 산 호세, 파소 로스 세리토스 6067
도허티, 존 이.
미국, 94539 캘리포니아, 프레몬트, 블랙풋 드라이브 1809
(74) 대리인
특허법인인벤싱크

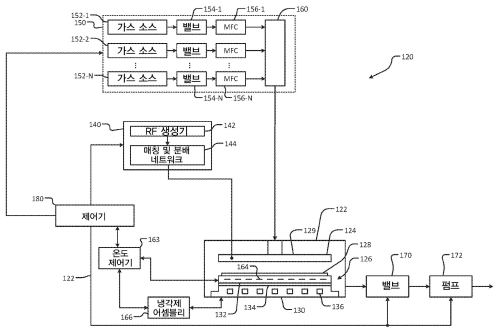
전체 청구항 수 : 총 17 항 심사관 : 김윤선

(54) 발명의 명칭 **MEMS 코리올리 가스 유량 제어기**

(57) 요 약

유체 전달 시스템은 N 개의 제 1 밸브들을 포함한다. N 개의 제 1 밸브들의 유입구들은 N 개의 가스 소스들에 각각 유체적으로 연결되고, 여기서 N은 0보다 큰 정수이다. N 개의 질량 유량 제어기들은 N 개의 제 1 밸브들 중 대응하는 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 (Coriolis) 유량 센서를 포함한다. 제 2 밸브는 MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 배치된 기판을 처리하기 위해 유체를 공급하는 유출구를 갖는다. 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 (mass flow rate) 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하도록 구성된다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G01F 1/845 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

N 개의 제 1 밸브들로서, 상기 N 개의 제 1 밸브들의 유입구들은 N 개의 가스 소스들에 각각 유체적으로 연결되고, 여기서 N은 0보다 큰 정수인, 상기 N 개의 제 1 밸브들; 및

N 개의 질량 유량 제어기들 (mass flow controllers) 로서, 각각

상기 N 개의 제 1 밸브들 중 대응하는 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 (Coriolis) 유량 센서로서, 상기 MEMS 코리올리 유량 센서는 튜브를 포함하고, 이를 통해 상기 유체가 흐르는, 상기 MEMS 코리올리 유량 센서;

상기 MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 배치된 기판을 처리하기 위해 상기 유체를 공급하는 유출구를 갖는 제 2 밸브; 및

상기 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 상기 MEMS 코리올리 유량 센서로부터 수신된 신호들에 기초하여 상기 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 (mass flow rate) 및 밀도 모두를 결정하도록 구성된 제어기로서, 제 1 신호는 상기 튜브의 오실레이션 (oscillation) 주파수를 포함하고 제 2 신호는 위상 시프트를 포함하고, 상기 질량 유량 레이트 및 상기 밀도를 결정하는 것은 온도 및 압력에 독립적인, 제어기를 포함하는, 상기 N 개의 질량 유량 제어기들을 포함하는, 유체 전달 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 N 개의 질량 유량 제어기들의 상기 제 2 밸브들의 상기 유출구들과 각각 유체로 연통하는 매니폴드를 더 포함하고, 상기 프로세싱 챔버는 상기 매니폴드의 유출구와 유체로 연통하는, 유체 전달 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나는,

상기 제 2 밸브의 상기 유출구에 유체적으로 연결된 유입구를 포함하는 정밀 오리피스; 및

상기 제 2 밸브의 상기 유출구와 상기 정밀 오리피스의 상기 유입구 사이의 압력을 센싱하기 위한 압력 센서를 더 포함하는, 유체 전달 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 상기 적어도 하나의 상기 제어기는 상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 상기 적어도 하나의 상기 압력 센서에 의해 센싱된 상기 압력에 기초하여 플로우 검증을 수행하도록 구성되는, 유체 전달 시스템.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 상기 적어도 하나의 상기 제어기는 검증된 질량 유량 레이트를 출력하고 상기 압력에 의해 인덱싱되는 룩업 테이블을 포함하는, 유체 전달 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 MEMS 코리올리 유량 센서 중 M 개는 단일 집적 회로에 배치되고, 여기서 M은 1보다 크고 N 이하인 정수인, 유체 전달 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 MEMS 코리올리 유량 센서는 측정 동안 공진 주파수로 상기 튜브를 진동시키고, 그리고

상기 튜브는 반도체 재료로 이루어지는, 유체 전달 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경 (inner diameter) 을 갖고; 그리고

상기 MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정하는, 유체 전달 시스템.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정하는, 유체 전달 시스템.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정하는, 유체 전달 시스템.

청구항 11

제 7 항에 있어서,

상기 MEMS 코리올리 유량 센서는,

상기 공진 주파수로 상기 튜브를 진동시키도록 구성된 액추에이터 회로;

상기 튜브의 진동에 응답하여 신호를 생성하도록 구성된 용량성 센싱 회로; 및

상기 신호를 수신하도록 구성된 판독 회로를 포함하는, 제어 회로를 포함하는, 유체 전달 시스템.

청구항 12

N 개의 제 1 밸브들로서, 상기 N 개의 제 1 밸브들의 유입구들은 N 개의 가스 소스들에 각각 유체적으로 연결되고, 여기서 N은 0보다 큰 정수인, 상기 N 개의 제 1 밸브들; 및

N 개의 질량 유량 제어기들 (mass flow controllers) 로서, 각각

상기 N 개의 제 1 밸브들 중 대응하는 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 (Coriolis) 유량 센서;

상기 MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 배치된 기판을 처리하기 위해 상기 유체를 공급하는 유출구를 갖는 제 2 밸브; 및

상기 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 상기 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 (mass flow rate) 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하도록 구성된 제어기를 포함하는, 상기 N 개의 질량 유량 제어기들을 포함하고,

상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 상기 MEMS 코리올리 유량 센서는 가속도계 (accelerometer) 를 더 포함하는, 유체 전달 시스템.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 가속도계는 상기 MEMS 코리올리 유량 센서의 진동을 측정하도록 구성되고, 그리고

상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 상기 적어도 하나의 상기 제어기는 상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 상기 적어도 하나의 상기 MEMS 코리올리 유량 센서의 상기 진동이 미리 결정된 진동 문턱값보다 클 때 에러 통지를 생성하도록 구성되는, 유체 전달 시스템.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 상기 적어도 하나의 상기 제어기는, 상기 가속도계의 출력에 기초하여 상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 상기 적어도 하나의 상기 MEMS 코리올리 유량 센서의 상태를 검출하도록 구성되는, 유체 전달 시스템.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 상기 적어도 하나의 상기 제어기는, 상기 검출된 상태에 기초하여 상기 N 개의 질량 유량 제어기들 중 상기 적어도 하나의 복수의 캘리브레이션들 (calibrations) 중 하나를 선택하도록 구성되는, 유체 전달 시스템.

청구항 16

기판 프로세싱 시스템에 있어서,

제 1 항에 기재된 상기 유체 전달 시스템;

상기 프로세싱 챔버; 및

상기 기판을 지지하도록 상기 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함하고,

상기 유체 전달 시스템은 유체를 상기 프로세싱 챔버로 전달하고, 그리고 상기 기판 프로세싱 시스템은 에칭을 수행하는, 기판 프로세싱 시스템.

청구항 17

기판 프로세싱 시스템에 있어서,

제 1 항에 기재된 상기 유체 전달 시스템;

상기 프로세싱 챔버; 및

상기 기판을 지지하도록 상기 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함하고,

상기 유체 전달 시스템은 유체를 상기 프로세싱 챔버로 전달하고, 그리고 상기 기판 프로세싱 시스템은 증착을 수행하는, 기판 프로세싱 시스템.

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

삭제

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

청구항 88

삭제

청구항 89

삭제

청구항 90

삭제

청구항 91

삭제

청구항 92

삭제

청구항 93

삭제

청구항 94

삭제

청구항 95

삭제

청구항 96

삭제

청구항 97

삭제

청구항 98

삭제

청구항 99

삭제

청구항 100

삭제

청구항 101

삭제

청구항 102

삭제

청구항 103

삭제

청구항 104

삭제

청구항 105

삭제

청구항 106

삭제

청구항 107

삭제

청구항 108

삭제

청구항 109

삭제

청구항 110

삭제

청구항 111

삭제

청구항 112

삭제

청구항 113

삭제

청구항 114

삭제

청구항 115

삭제

청구항 116

삭제

청구항 117

삭제

청구항 118

삭제

청구항 119

삭제

청구항 120

삭제

청구항 121

삭제

청구항 122

삭제

청구항 123

삭제

청구항 124

삭제

청구항 125

삭제

청구항 126

삭제

청구항 127

삭제

청구항 128

삭제

청구항 129

삭제

청구항 130

삭제

청구항 131

삭제

청구항 132

삭제

청구항 133

삭제

청구항 134

삭제

청구항 135

삭제

청구항 136

삭제

청구항 137

삭제

청구항 138

삭제

청구항 139

삭제

청구항 140

삭제

청구항 141

삭제

청구항 142

삭제

청구항 143

삭제

청구항 144

삭제

청구항 145

삭제

청구항 146

삭제

청구항 147

삭제

청구항 148

삭제

청구항 149

삭제

청구항 150

삭제

청구항 151

삭제

청구항 152

삭제

청구항 153

삭제

청구항 154

삭제

청구항 155

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원들에 대한 교차 참조

[0002] 본 출원은 2018년 5월 18일 출원된 미국 특허 가출원 번호 제 62/673,382 호 및 2018년 4월 3일에 출원된 미국 특허 가출원 번호 제 62/652,019 호의 이익을 주장한다. 상기 참조된 출원들의 전체 개시는 참조로서 본 명세서에 인용된다.

[0003] 본 개시는 기판 프로세싱, 보다 구체적으로 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서들을 포함하는 질량 유량 제어기들을 사용하여 기판 프로세싱 시스템에서 가스들과 같은 유체들의 플로우를 제어하는 것에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0004] 본 명세서에 제공된 배경기술 기술 (description) 은 본 개시의 맥락을 일반적으로 제시할 목적이다. 이 배경기술 섹션에 기술된 정도의 본 명세서에 명명된 발명자들의 업적, 뿐만 아니라 출원시 종래 기술로서 달리 인증되지 않을 수도 있는 본 기술의 양태들은 본 개시에 대한 종래 기술로서 명시적으로나 암시적으로 인정되지 않는다.

[0005] 기판 프로세싱 시스템들은 반도체 웨이퍼와 같은 기판 상의 막을 증착, 에칭, 애시, 세정 또는 달리 처리하도록 사용된다. 처리 동안, 기판은 프로세싱 챔버 내에 배치될 수도 있고 하나 이상의 가스 혼합물들에 노출될 수도 있다. 일부 예들에서, 플라즈마가 화학 반응들이 발생하게 하도록 사용될 수도 있다.

[0006] 질량 유량 제어기들 (mass flow controllers; MFCs) 은 기판 프로세싱 챔버로 전달된 가스들의 계측을 제어하도록 사용된다. 화학적 기상 증착 (chemical vapor deposition; CVD), 원자 층 증착 (atomic layer deposition; ALD) 및/또는 원자 층 에칭 (atomic layer etching; ALE) 과 같은 프로세스들을 위한 보다 최신 레시피들은 상대적으로 낮은 가스 플로우 레이트들 및 빠른 가스 교환 시간들을 필요로 한다. 이들 적용예들에 열 기반 또는 압력 기반 MFC들과 같은 현재 MFC들을 사용할 때 문제들에 직면하게 된다.

발명의 내용

[0007] 유체 전달 시스템은 N 개의 제 1 밸브들을 포함한다. N 개의 제 1 밸브들의 유입구들은 N 개의 가스 소스들에 각각 유체적으로 연결되고, 여기서 N은 0보다 큰 정수이다. N 개의 질량 유량 제어기들은 N 개의 제 1 밸브들

중 대응하는 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 (Coriolis) 유량 센서를 포함한다. 제 2 밸브는 MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 배치된 기판을 처리하기 위해 유체를 공급하는 유출구를 갖는다. 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 (mass flow rate) 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하도록 구성된다.

[0008] 다른 특징들에서, 매니폴드는 N 개의 질량 유량 제어기들의 제 2 밸브들의 유출구들과 각각 유체로 연통한다. 프로세싱 챔버는 매니폴드의 유출구와 유체로 연통한다. N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나는, 제 2 밸브의 유출구에 유체적으로 연결된 유입구를 포함하는 정밀 오리피스; 및 제 2 밸브의 유출구와 정밀 오리피스의 유입구 사이의 압력을 센싱하기 위한 압력 센서를 더 포함한다.

[0009] 다른 특징들에서, N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 제어기는 N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 압력 센서에 의해 센싱된 압력에 기초하여 플로우 검증을 수행하도록 구성된다. N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 제어기는 검증된 질량 유량 레이트를 출력하고 압력에 의해 인덱싱되는 룩업 테이블을 포함한다.

[0010] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서 중 M 개는 단일 집적 회로에 배치되고, 여기서 M은 1보다 크고 N 이하인 정수이다. MEMS 코리올리 유량 센서는 튜브를 포함하고, 이를 통해 유체가 흐르고, MEMS 코리올리 유량 센서는 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다.

[0011] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경 (inner diameter) 을 갖고; 그리고 MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0012] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는, 공진 주파수로 튜브를 진동시키도록 구성된 액추에이터 회로; 튜브의 진동에 응답하여 신호를 생성하도록 구성된 용량성 센싱 회로; 및 신호를 수신하도록 구성된 판독 회로를 포함하는, 제어 회로를 포함한다.

[0013] 다른 특징들에서, N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 MEMS 코리올리 유량 센서는 가속도계 (accelerometer) 를 더 포함한다. 가속도계는 MEMS 코리올리 유량 센서의 진동을 측정하도록 구성된다. N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 제어기는 N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 MEMS 코리올리 유량 센서의 진동이 미리 결정된 진동 문턱값보다 클 때 에러 통지를 생성하도록 구성된다.

[0014] 다른 특징들에서, N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 제어기는, 가속도계의 출력에 기초하여 N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 MEMS 코리올리 유량 센서의 상태를 검출하도록 구성된다. N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 제어기는, 검출된 상태에 기초하여 N 개의 질량 유량 제어기들 중 적어도 하나의 복수의 캘리브레이션들 (calibrations) 중 하나를 선택하도록 구성된다.

[0015] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 유체 전달 시스템은 유체를 프로세싱 챔버로 전달한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭을 수행한다.

[0016] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 유체 전달 시스템은 유체를 프로세싱 챔버로 전달하고, 그리고 기판 프로세싱 시스템은 증착을 수행한다.

[0017] 유체 전달 시스템이 가스 소스에 유체적으로 연결된 유입구를 갖는 제 1 밸브를 포함한다. 질량 유량 제어기로서는 제 1 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서; MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 배치된 기판을 처리하기 위해 유체를 공급하는 유출구를 갖는 제 2 밸브; MEMS 코리올리 유량 센서를 가열하기 위한 가열기; MEMS 코리올리 유량 센서의 온도를 센싱하기 위한 온도 센서 및 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 제어기를 포함한다. 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하고; 그리고 가열기로 하여금 온도가 미리 결정된 온도 문턱값보다 작을 때 MEMS 코리올리 유량 센서를 가열하게 하도록 구성된다.

[0018] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 튜브를 포함하고, 이를 통해 유체가 흐르고, MEMS 코리올리 유량

센서는 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다.

[0019] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0020] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는, 공진 주파수로 튜브를 진동시키도록 구성된 액추에이터 회로; 및 튜브의 진동에 응답하여 신호를 생성하도록 구성된 용량성 센싱 회로; 및 신호를 수신하도록 구성된 판독 회로를 포함하는, 제어 회로를 포함한다.

[0021] 다른 특징들에서, 질량 유량 제어기의 MEMS 코리올리 유량 센서는 가속도계를 더 포함한다. 가속도계는 MEMS 코리올리 유량 센서의 진동을 측정하도록 구성되고, 그리고 질량 유량 제어기의 제어기는 질량 유량 제어기의 MEMS 코리올리 유량 센서의 진동이 미리 결정된 진동 문턱값보다 클 때 에러 통지를 생성하도록 구성된다.

[0022] 다른 특징들에서, 질량 유량 제어기들의 제어기는, 가속도계의 출력에 기초하여 질량 유량 제어기들의 MEMS 코리올리 유량 센서의 상태를 검출하도록 구성된다. 질량 유량 제어기의 제어기는, 검출된 상태에 기초하여 질량 유량 제어기들의 복수의 캘리브레이션들 중 하나를 선택하도록 구성된다.

[0023] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 유체 전달 시스템은 유체를 프로세싱 챔버로 전달한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭을 수행한다. 기판 프로세싱 시스템은 증착을 수행한다.

[0024] 유체 전달 시스템은 가스 소스에 유체적으로 연결된 유입구를 갖는 제 1 밸브를 포함한다. 질량 유량 제어기가 제 1 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서; MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 배치된 기판을 처리하기 위해 유체를 공급하는 유출구를 갖는 제 2 밸브; MEMS 코리올리 유량 센서의 적어도 하나의 파라미터를 검출하기 위한 센서; 및 센서 및 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하는 제어기를 포함한다. 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하고, 적어도 하나의 파라미터에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서의 복수의 캘리브레이션들 중 하나를 선택하고, 그리고 복수의 캘리브레이션들 중 선택된 하나를 사용하여 MEMS 코리올리 유량 센서를 동작시키도록 구성된다.

[0025] 다른 특징들에서, 센서는 가속도계 및 진동 센서로 구성된 그룹으로부터 선택된다. 센서는 MEMS 코리올리 유량 센서의 제 2 밸브를 개방하기 전 MEMS 코리올리 유량 센서의 제 1 파라미터를 검출하도록 구성된다. 센서는 MEMS 코리올리 유량 센서의 제 2 밸브를 개방한 후 MEMS 코리올리 유량 센서의 제 2 파라미터를 검출하도록 구성된다. 제어기는 제 1 파라미터 및 제 2 파라미터에 기초하여 질량 유량 제어기의 동작을 진단하도록 구성된다.

[0026] 다른 특징들에서, 제어기는, MEMS 코리올리 유량 센서의 제 1 밸브가 폐쇄된 위치로 그리고 복수의 파라미터들에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서의 밸브의 동작을 진단하도록 명령받을 때 복수의 시간들에서 MEMS 코리올리 유량 센서의 복수의 파라미터들을 각각 검출하도록 구성된다.

[0027] 다른 특징들에서, 제어기는 복수의 시간들에서 파라미터들 사이의 복수의 차들을 생성하도록 구성된다. 제어기는 복수의 차들에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서의 밸브의 동작을 진단하도록 구성된다. MEMS 코리올리 유량 센서는 튜브를 포함하고, 이를 통해 유체가 흐르고, MEMS 코리올리 유량 센서는 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다.

[0028] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0029] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는, 공진 주파수로 튜브를 진동시키도록 구성된 액추에이터 회로; 및 튜브의 진동에 응답하여 신호를 생성하도록 구성된 용량성 센싱 회로; 및 신호를 수신하도록 구성된 판독 회로를 포함한다.

[0030] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭 또는 증착을 수행한다.

[0031] 다른 특징들에서, 가속도계는 가속도 및 진동 중 적어도 하나를 측정한다.

[0032] 유체 전달 시스템은 가스 소스에 유체적으로 연결된 유입구를 갖는 제 1 밸브를 포함한다. 질량 유량 제어기는 튜브를 포함하고 제 1 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서; MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 배치된 기판을 처리하기 위해 유체를 공급하는 유출구를 갖는 제 2 밸브; 및 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하는 제어기를 포함한다. 제어기는 튜브로 하여금 진동하게 하고 MEMS 코리올리 유량 센서의 튜브의 공진 주파수를 검출하게 하도록, MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하도록 구성된다.

[0033] 다른 특징들에서, 튜브는 반도체 재료로 이루어진다. 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0034] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는, 공진 주파수로 튜브를 진동시키도록 구성된 액추에이터 회로; 및 튜브의 운동에 응답하여 신호를 생성하도록 구성된 용량성 센싱 회로; 및 신호를 수신하도록 구성된 판독 회로를 포함한다.

[0035] 다른 특징들에서, 제어기는 공진 주파수와 미리 결정된 문턱값을 비교하도록 구성된다. 제어기는 비교에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서의 동작을 선택적으로 변경하도록 구성된다. 제어기는 비교에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서를 선택적으로 셧다운하도록 (shut down) 구성된다. MEMS 코리올리 유량 센서는 가속도계를 포함한다. 제어기는 가속에 기초하여 공진 주파수를 결정하도록 구성된다.

[0036] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 유체 전달 시스템은 유체를 프로세싱 챔버로 전달한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭을 수행한다. 기판 프로세싱 시스템은 증착을 수행한다.

[0037] 유체 전달 시스템은 가스 소스에 유체적으로 연결된 유입구를 갖는 제 1 밸브를 포함한다. 질량 유량 제어기는 제 1 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖고 반도체 재료로 이루어지고 구동 신호에 응답하여 공진하는 튜브를 포함하는, MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서를 포함한다. 제 2 밸브가 MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 배치된 기판을 처리하기 위해 유체를 공급하는 유출구를 갖는다. 제어기가 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 튜브로 하여금 공진하게 하고, MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하고; 복수의 시간들에서 튜브를 구동하는 구동 신호를 모니터링하고; 그리고 복수의 시간들 중 하나의 구동 신호의 파라미터와 복수의 시간들 중 또 다른 하나의 구동 신호의 파라미터를 비교하도록 구성된다.

[0038] 다른 특징들에서, 제어기는 구동 신호에 기초하여 튜브의 강성 (stiffness) 을 추정하도록 구성된다. 제어기는 추정된 강성에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서의 추정된 수명을 생성하도록 구성된다. 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서의 추정된 수명에 기초하여 통지를 선택적으로 생성하도록 구성된다.

[0039] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0040] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 유체 전달 시스템은 프로세싱 챔버로 유체를 전달한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭을 수행한다. 기판 프로세싱 시스템은 증착을 수행한다.

[0041] 유체 전달 시스템은 가스 소스에 유체적으로 연결된 유입구를 갖는 제 1 밸브를 포함한다. 질량 유량 제어기는 제 1 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서; MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 배치된 기판을 처리하기 위해 유체를 공급하는 유출구를 갖는 제 2 밸브; MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구에서 업스트림 압력을 모니터링하기 위한 제 1 압력 센서; 및 MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구와 유체로 연통하는 유입구 및 제 2 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유출구를 갖는 바이패스 밸브를 포함한다. 제어기가 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하고; 그리고 업스트림 압력을 모니터링하고 업스트림 압력에 기초하여 바이패스 밸브를 선택적으로 제어하도록 구성된다.

[0042] 다른 특징들에서, 제 2 밸브는 온/오프 밸브 및 온/오프 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 제한된 오리피스를 포함한다. 제 2 밸브는 가변 밸브를 포함한다. 제어기는 업스트림 압력을 미리 결정된 압력 문턱값에 비교하고 압력이 미리 결정된 압력 문턱값보다 클 때 바이패스 밸브를 개방하게 하도록 구성된다.

[0043] 다른 특징들에서, 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 복수의 가스들 중 선택된 가스에 기초하여 복수의 미리 결정된 압력 문턱값들 중 하나를 각각 선택하고, 그리고 업스트림 압력이 복수의 미리 결정된 압력들 중 선택된 압력보다 클 때 바이패스 밸브를 개방하게 하도록 구성된다.

[0044] 다른 특징들에서, 제 2 압력 센서가 제 2 밸브의 유출구의 다운스트림 압력을 센싱하고, 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서에 의해 결정된 질량 유량 레이트 및 다운스트림 압력에 기초하여 총 질량 유량 레이트를 결정하도록 구성된다.

[0045] 다른 특징들에서, 제 2 밸브는 가변 밸브를 포함하고, 유체 전달 시스템은 제 2 밸브의 유출구의 다운스트림 압력을 센싱하기 위한 제 2 압력 센서를 더 포함한다. 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서에 의해 결정된 질량 유량 레이트, 제 2 밸브의 위치 및 다운스트림 압력에 기초하여 총 질량 유량 레이트를 결정하도록 구성된다.

[0046] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 튜브를 포함하고, 이를 통해 유체가 흐르고, MEMS 코리올리 유량 센서는 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다.

[0047] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0048] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 유체 전달 시스템은 프로세싱 챔버로 유체를 전달한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭을 수행한다. 기판 프로세싱 시스템은 증착을 수행한다.

[0049] 기판 프로세싱 시스템은 프로세싱 챔버; 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부; 및 가스 혼합물들을 프로세싱 챔버로 전달하기 위한 제 1 가스 전달 시스템을 포함한다. 제 2 가스 전달 시스템은 가스 소스에 유체적으로 연결된 제 1 밸브를 포함한다. 질량 유량 제어기는 제 1 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서를 포함한다. 제 2 밸브는 MEMS 코리올리 유량 센서와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버에 공급하는 유출구를 포함한다. MEMS 코리올리 유량 센서 및 제 2 밸브의 유출구는 프로세싱 챔버의 미리 결정된 거리 이내에 위치되고, 미리 결정된 거리는 10 인치 이하이다.

[0050] 다른 특징들에서, 제 1 가스 전달 시스템은, N 개의 제 1 밸브들을 포함한다. N 개의 제 1 밸브들의 유입구들은 N 개의 가스 소스들에 각각 유체적으로 연결되고, 여기서 N은 0보다 큰 정수이다. N 개의 질량 유량 제어기들은 N 개의 밸브들 중 대응하는 밸브의 유출구와 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서; MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버와 통신하는 유출구를 갖는 제 2 밸브; 및 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하도록 구성된 제어기를 포함한다.

[0051] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 이를 통해 유체가 흐르는 튜브를 포함하고, MEMS 코리올리 유량 센서는 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다.

[0052] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0053] 다른 특징들에서, 기판 프로세싱 시스템은 에칭 또는 증착을 수행한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 튜브를 포함하고, 이를 통해 유체가 흐르고, MEMS 코리올리 유량 센서는 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 튜브는 반도체 재료로 이루어진다.

[0054] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0055] 유체 전달 시스템은 가스 소스에 유체적으로 연결된 유입구를 갖는 제 1 밸브; 및 질량 유량 제어기를 포함한다. 질량 유량 제어기는 유입구, 유출구 및 유입구와 유출구 사이에서 공진하는 튜브를 포함하는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서; MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버의 기판을 처리하기 위해 유체를 공급하는 유출구를 갖는 제 2 밸브; 공진하는 튜브의 유입구에서 제 1 압력을 센싱하기 위한 제 1 압력 센서; 공진하는 튜브의 유출구에서 제 2 압력을 센싱하기 위한 제 2 압력 센서; 공진하는 튜브의 유입구에서 유체의 제 1 온도를 센싱하기 위한 제 1 온도 센서; 공진하는 튜브의 유출구에서 유체의 제 2 온도를 센싱하기 위한 제 2 온도 센서; 및 제어기를 포함한다. 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하고 질량 유량 레이트, 제 1 온도, 제 2 온도, 제 1 압력 및 제 2 압력에 기초하여 유체의 압축률을 계산하도록 구성된다.

[0056] 다른 특징들에서, 제어기는 제 2 온도와 제 1 온도 간의 온도 차 및 제 2 압력과 제 1 압력 간의 압력 차를 계산하도록 구성된다.

[0057] 다른 특징들에서, 유체의 압축률은 질량 유량 레이트, 온도 차, 및 압력 차에 기초한다. 다른 특징들에서, 업스트림 플로우 제어 디바이스를 더 포함하고, 제어기는 업스트림 플로우 제어 디바이스로 압축률을 출력한다.

[0058] 다른 특징들에서, 업스트림 플로우 제어 디바이스는 업스트림 플로우 제어 디바이스를 캘리브레이팅하고, 업스트림 플로우 제어 디바이스를 진단하고 그리고 압축률에 기초하여 업스트림 플로우 제어 디바이스의 동작을 조정하는 것 중 적어도 하나를 한다.

[0059] 다른 특징들에서, 제어기는 다운스트림 플로우 제어 디바이스로 압축률을 출력한다. 다운스트림 플로우 제어 디바이스는 다운스트림 플로우 제어 디바이스를 캘리브레이팅하고, 다운스트림 플로우 제어 디바이스를 진단하고 그리고 압축률에 기초하여 다운스트림 플로우 제어 디바이스의 동작을 조정하는 것 중 적어도 하나를 한다.

[0060] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 튜브를 포함하고, 이를 통해 유체가 흐르고, MEMS 코리올리 유량 센서는 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다.

[0061] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0062] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭 또는 증착을 수행한다.

[0063] 유체 전달 시스템은 N 개의 제 1 밸브들을 포함한다. N 개의 제 1 밸브들의 유입구들은 N 개의 가스 소스들에 각각 유체적으로 연결되고, 여기서 N은 0보다 큰 정수이다. 질량 유량 제어기는, N 개의 제 1 밸브들의 유출구들과 유체로 연통하는 유입구를 갖는 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서; MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구와 유체로 연통하는 유입구 및 프로세싱 챔버의 기판을 처리하기 위해 유체를 공급하는 유출구를 갖는 제 2 밸브; 및 제어기를 포함한다. 제어기는 MEMS 코리올리 유량 센서와 통신하고 N 개의 제 1 밸브들 하나를 선택하고, N 개의 제 1 밸브들 중 선택된 밸브를 개방하고 그리고 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 N 개의 밸브들 중 선택된 밸브로부터 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도 중 적어도 하나를 결정하도록 구성된다.

[0064] 다른 특징들에서, 제 3 밸브가 N 개의 제 1 밸브들의 유출구들에 연결된다. N 개의 제 1 밸브들을 폐쇄한 후 그리고 N 개의 제 1 밸브들 중 선택된 밸브를 개방하기 전, 제어기는 N 개의 제 1 밸브들의 유출구들과 MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구 사이의 볼륨을 배기하기 위해 제 3 밸브를 개방하도록 구성된다. 질량 유량 제어기는 제 2 밸브의 유출구에 유체적으로 연결된 정밀 오리피스; 및 제 2 밸브의 유출구와 질량 유량 제어기의 정밀 오리피스의 유입구 사이의 압력을 센싱하기 위한 압력 센서를 더 포함한다.

[0065] 다른 특징들에서, 제어기는 질량 유량 제어기의 압력 센서에 의해 센싱된 압력에 기초하여 플로우 검증을 수행하도록 구성된다. N 개의 제 1 밸브들을 폐쇄한 후 그리고 N 개의 제 1 밸브들 중 선택된 제 1 밸브를 개방하기 전, 제어기는 질량 유량 제어기의 압력 센서에 의해 센싱된 압력에 기초하여 밸브 누설을 검출하도록 구성된다.

[0066] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 튜브를 포함하고, 이를 통해 유체가 흐르고, MEMS 코리올리 유량

센서는 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다. 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0067] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭 또는 증착을 수행한다.

[0068] 유체 전달 시스템은 밸브 블록의 제 1 유입구들을 제 1 밸브들의 유입구들에 유체적으로 연결하는 제 1 통로들; 제 1 밸브들의 유출구들을 밸브 블록의 제 1 유출구에 유체적으로 연결하는 매니폴드; 제 2 밸브의 유출구를 밸브 블록의 제 2 유출구에 유체적으로 연결하는 제 2 통로; 및 밸브 블록의 제 2 유입구를 제 2 밸브의 유입구에 유체적으로 연결하는 제 3 통로를 포함하는, 밸브 블록을 포함한다. MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서는 유입구 및 유출구를 갖는 공진하는 튜브를 포함한다. 인터포저 (interposer) 가 반도체 재료로 이루어지고 밸브 블록과 MEMS 코리올리 유량 센서 사이에 배치된다

[0069] 다른 특징들에서, 인터포저는 밸브 블록의 제 1 유출구를 MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구에 유체적으로 연결하는 제 1 통로, 및 MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구를 밸브 블록의 제 2 유입구에 유체적으로 연결하는 제 2 통로를 포함한다.

[0070] 다른 특징들에서, 밸브 블록에 인접하게 위치된 인터포저의 제 1 통로의 제 1 면적은 MEMS 코리올리 유량 센서에 인접하게 위치된 제 1 통로의 제 2 면적보다 크고 그리고 밸브 블록에 인접하게 위치된 인터포저의 제 2 통로의 제 3 면적이 MEMS 코리올리 유량 센서의 제 1 통로에 인접하게 위치된 제 4 면적보다 크다.

[0071] 다른 특징들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 튜브를 포함하고, 이를 통해 유체가 흐르고, MEMS 코리올리 유량 센서는 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다. 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. MEMS 코리올리 유량 센서는 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. MEMS 코리올리 유량 센서는 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0072] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭 또는 증착을 수행한다.

[0073] 유체 전달 시스템은 밸브 블록으로서, T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 통로들, 여기서 T 및 N은 1보다 큰 정수들임; T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 통로들과 유체로 연통하는 T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 밸브들; T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 밸브들의 유출구들과 유체로 연통하는 T 개의 그룹들의 N 개의 유출구 통로들로서, T 개의 그룹들의 N 개의 유출구 통로들을 T 개의 노드들에 각각 연결하는, T 개의 그룹들의 N 개의 유출구 통로들; T 개의 노드들에 유체적으로 연결된 T 개의 유입구 통로들; T 개의 유출구 밸브들; 및 T 개의 유출구 밸브들의 유입구들에 유체적으로 연결된 T 개의 유출구 통로들을 포함하는, 밸브 블록; 각각 N 개의 유입구 및 유출구를 포함하는 T 개의 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서들; 및 반도체 재료로 이루어지고 밸브 블록과 T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들 사이에 배치된 인터포저를 포함한다.

[0074] 다른 특징들에서, 인터포저는 밸브 블록에 인접하게 위치된 제 1 단면적 및 T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들에 인접하게 배치된 제 2 단면적을 각각 갖는 T 개의 유입구 통로들을 포함한다. 제 1 단면적은 제 2 단면적보다 크다. 인터포저는 밸브 블록에 인접하게 위치된 제 1 단면적 및 T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들에 인접하게 위치된 제 2 단면적을 각각 갖는 T 개의 유출구 통로들을 더 포함한다.

[0075] 다른 특징들에서, T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들 중 2 개 이상의 유량 센서들이 단일 집적 회로에서 구현된다. T 개의 유입구 통로들 및 T 개의 유출구 통로들은 단일 평면에서 연장한다. T 개의 유입구 통로들 및 T 개의 유출구 통로들은 2 개 이상의 평면에서 연장한다.

[0076] 다른 특징들에서, T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은 튜브를 포함하고, 이를 통해 유체가 흐르고, T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다.

[0077] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정

한다.

[0078] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭 또는 증착을 수행한다.

[0079] 유체 전달 시스템은 T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 통로들, 여기서 T 및 N은 1보다 큰 정수들임; T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 통로들과 유체로 연통하는 T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 밸브들; T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 밸브들의 유출구들과 유체로 연통하는 T 개의 그룹들의 N 개의 유출구 통로들을 포함하는, 밸브 블록; 각각 N 개의 유입구 및 유출구를 포함하는 T 개의 MEMS (microelectromechanical) 코리올리 유량 센서들; 반도체 재료로 이루어지고 밸브 블록과 T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들 사이에 배치된 인터포저를 포함한다. 인터포저는, T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들의 유입구들에 T 개의 제 1 노드들을 각각 유체적으로 연결하는 T 개의 제 1 노드들 및 T 개의 제 1 통로들에 연결된 T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 통로들; 및 T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들의 유출구들에 T 개의 제 2 노드들을 각각 유체적으로 연결하는 T 개의 제 2 노드들 및 T 개의 제 2 통로들에 연결된 T 개의 그룹들의 N 개의 유출구 통로들을 포함한다.

[0080] 다른 특징들에서, T 개의 그룹들의 N 개의 유입구 통로들 및 T 개의 그룹들의 N 개의 유출구 통로들은 밸브 블록에 인접한 제 1 단면적을 갖고 그리고 T 개의 제 1 통로들 및 T 개의 제 2 통로들은 T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들에 인접한 제 2 단면적을 각각 갖고, 그리고 제 1 단면적은 제 2 단면적보다 크다.

[0081] 다른 특징들에서, T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들 중 2 개 이상의 유량 센서들이 단일 집적 회로에서 구현된다. T 개의 그룹들의 유입구 통로들 및 T 개의 그룹들의 유출구 통로들은 단일 평면에 배치된다. T 개의 유입구 통로들 및 T 개의 유출구 통로들은 2 개 이상의 평면에 배치된다.

[0082] 다른 특징들에서, T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은, 이를 통해 유체가 흐르는 튜브를 포함하고, T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은 측정 동안 공진 주파수로 튜브를 진동시키고, 그리고 튜브는 반도체 재료로 이루어진다.

[0083] 다른 특징들에서, 튜브는 10 ㎛ 내지 100 ㎛ 범위의 내경을 갖는다. T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은 1000 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은 100 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다. T 개의 MEMS 코리올리 유량 센서들은 10 sccm보다 작은 질량 유량 레이트들을 측정한다.

[0084] 기판 프로세싱 시스템은 유체 전달 시스템; 프로세싱 챔버; 및 기판을 지지하도록 프로세싱 챔버 내에 배치된 기판 지지부를 포함한다. 기판 프로세싱 시스템은 에칭 또는 증착을 수행한다.

[0085] 본 개시의 추가 적용가능 영역들은 상세한 기술, 청구항들 및 도면들로부터 자명해질 것이다. 상세한 기술 및 구체적인 예들은 단지 예시를 목적으로 하고 본 개시의 범위를 제한하도록 의도되지 않는다.

도면의 간단한 설명

[0086] 본 개시는 상세한 기술 및 첨부된 도면들로부터 보다 완전히 이해될 것이다.

도 1은 본 개시에 따른, MEMS (microelectromechanical)-기반 코리올리 유량 센서를 갖는 질량 유량 제어기 (MFC) 를 포함하는 기판 프로세싱 시스템의 기능적 블록도이다.

도 2a는 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서를 갖는 MFC를 포함하는 가스 전달 시스템의 기능적 블록도이다.

도 2b는 본 개시에 따른, 밸브 블록에 부착된 MEMS 코리올리 유량 센서의 일 예를 예시하는 측단면도이다.

도 2c는 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서를 갖는 MFC 의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 3은 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서를 갖는 MFC 및 절대 플로우 검증기 (absolute flow verification; AFV) 를 포함하는 가스 전달 시스템의 기능적 블록도이다.

도 4는 본 개시에 따른, 도 3의 시스템을 사용하여 AFV를 수행하기 위한 방법의 플로우차트이다.

도 5는 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서들을 갖는 멀티플렉싱된 MFC들을 포함하는 가스 전달 시스템의 기능적 블록도이다.

도 6은 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서들을 갖는 멀티플렉싱된 MFC들을 포함하는 가스 전달 시스템의

기능적 블록도이다.

도 7은 본 개시에 따른, 멀티플렉싱된 MFC 및 인터포저 블록의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 8a 내지 도 8c는 본 개시에 따른, 멀티플렉싱된 MFC 및 인터포저 블록의 또 다른 예의 기능적 블록도이다.

도 9a 내지 도 9c는 본 개시에 따른, MFC 및 인터포저 블록의 또 다른 예의 기능적 블록도이다.

도 10은 본 개시에 따른, 가스들을 전달하기 위해 프로세싱 챔버에 바로 인접하게 배치된 하나 이상의 밸브들을 포함하는 기판 프로세싱 시스템의 일 예의 밸브 블록도이다.

도 11a는 MFC의 배향 또는 상태, MEMS 코리올리 유량 센서 또는 다른 파라미터들의 검출된 진동에 기초하여 MFC의 동작을 조정하기 위한 가속 제어 회로를 포함하는 MFC 제어 회로의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 11b 및 도 11c는 도 11a의 가속 제어 회로를 동작시키는 방법들의 예들의 플로우차트들이다.

도 12a는 MEMS 코리올리 유량 센서의 온도에 기초하여 동작을 조정하기 위한 가열기 제어 회로를 포함하는 MFC 제어 회로의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 12b는 MEMS 코리올리 유량 센서를 가열하는 방법의 일 예의 플로우차트이다.

도 13은 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서의 센싱된 진동에 기초하여, 가스와 같은 유체를 공급하는 밸브가 개방되었는지 여부를 검출하기 위한 방법의 일 예의 플로우차트이다.

도 14는 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서의 센싱된 진동에 기초하여, 유체를 공급하는 밸브가 폐되었는지 여부를 검출하기 위한 방법의 일 예의 플로우차트이다.

도 15는 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서 및 RF 차폐부를 포함하는 MFC의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 16a는 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서 및 공진 주파수 모니터링 모듈을 포함하는 MFC의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 16b는 본 개시에 따른, 튜브의 공진 주파수에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC의 성능을 모니터링하는 방법의 일 예의 플로우차트이다.

도 17은 본 개시에 따른, 마모 및/또는 다른 동작상 변화들을 검출하기 위한 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC의 튜브를 공진시키기 위한 구동 신호를 모니터링하는 방법의 일 예의 플로우차트이다.

도 18a 및 도 18b는 본 개시에 따른, 응결을 방지하기 위해 업스트림 압력을 모니터링하는 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC들의 예들의 기능적 블록도들이다.

도 18c는 본 개시에 따른, 응결을 방지하기 위해 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC의 업스트림 압력을 모니터링하는 방법의 일 예의 플로우차트이다.

도 19는 본 개시에 따른, 기화기로 액체를 전달하고 센싱하기 위한 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 20a는 본 개시에 따른, MEMS 코리올리 유량 센서 및 압축률 계산 모듈을 포함하는 MFC의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 20b는 본 개시에 따른, 계산된 압축률을 업스트림 및/또는 다운스트림 플로우 제어 디바이스들에 출력하는 도 20a의 시스템의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 20c는 본 개시에 따른, 계산된 압축률을 업스트림 및/또는 다운스트림 온도-기반 MFC에 출력하는 도 20a의 시스템의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 20d는 본 개시에 따른, 계산된 압축률을 업스트림 및/또는 다운스트림 압력-기반 MFC에 출력하는 도 20a의 시스템의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 21a 내지 도 21c는 본 개시에 따른, 업스트림 또는 다운스트림 플로우 제어 디바이스, 업스트림 또는 다운스트림 온도-기반 MFC, 및/또는 업스트림 또는 다운스트림 압력-기반 MFC의 동작을 각각 검증하고 그리고/또는 조

정하기 위해 압축률을 사용하는 방법들의 예들의 플로우차트들이다.

도 22는 본 개시에 따른, 밸브들 사이의 가스 플로우 채널의 잔류 가스를 클리어링하기 (clearing) 위한 시스템 및 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 멀티플렉싱된 MFC들의 일 예의 기능적 블록도이다.

도 23은 본 개시에 따른, 밸브들 사이의 잔류 가스를 클리어링하도록 도 22의 시스템을 동작시키기 위한 방법의 일 예의 플로우차트이다.

도 24는 본 개시에 따른 밸브 누설 또는 드리프팅 (drift) 을 검출하기 위해 AFV를 사용하는 방법의 일 예의 플로우차트이다.

도면들에서, 참조 번호들은 유사한 그리고/또는 동일한 엘리먼트들을 식별하기 위해 재사용될 수도 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0087] 본 개시에 따른 기판 프로세싱 시스템들 및 방법들은 반도체 기판들에 대해 기판 프로세싱 챔버로 전달된 하나 이상의 가스 플로우들의 질량 유량 레이트 및/또는 밀도와 같은 플로우 파라미터들을 측정하기 위한 MEMS (microelectromechanical)-기반 코리올리 유량 센서들을 포함하는 질량 유량 제어기들 (MFCs) 에 관한 것이다. 전술한 기술이 가스들의 질량 유량 레이트들의 측정을 기술하지만, 본 개시는 액체들 또는 액체들 및 가스들의 혼합물들과 같은 다른 유체들의 질량 유량 제어에 관한 것이다. 게다가, 본 개시는 반도체 프로세싱 분위기들에서 질량 유량 제어를 기술하지만, 전술한 개시는 저 플로우 레이트들 (flow rates) 을 측정하는 다른 분위기들에서 질량 유량 레이트들의 측정에 적용된다.

[0088] 일부 예들에서, 가스 박스가 복수의 가스들 또는 가스 혼합물들을 공급하고 가스 박스의 전체 비용을 감소시키기 위해 멀티플렉싱되는 MFC들 (각각 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함함) 을 포함한다. 보다 구체적으로, P 개의 상이한 가스들 또는 가스 혼합물들을 위한 P 개의 유입구 튜브들 (P는 1보다 큰 정수임) 은 유사하거나 양립가능한 가스 타입들의 T 개의 그룹들로 구성된다 (P 및 T는 1보다 큰 정수들임). 가스들 또는 가스 혼합물들의 그룹 각각은 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 단일 MFC에 의해 제어된다.

[0089] 일부 예들에서, 인터포저 블록은 MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구들로 가스들을 라우팅하기 위한 (route) 내부 통로들을 포함한다. 일부 예들에서, 인터포저 블록은 하나 이상의 반도체 재료들로 이루어지고 반도체 프로세스를 사용하여 제작된다. 일부 예들에서, 인터포저 블록은 (내부 통로들의 두 절반부들을 규정하기 위해) 제 1 기판 및 제 2 기판에 매칭 패턴들 (예를 들어, 미러 (mirro)r 이미지들) 을 에칭하고, 에칭된 표면들을 정렬 및 인접시키고 (abut), 제 1 기판과 제 2 기판을 함께 본딩함으로써 이루어진다. 일부 예들에서, 인터포저 블록은 (유사한 방식으로 이루어진) 복수의 층들 및 부가적인 가요성을 허용하도록 층들 사이에 접속부들을 제공하기 위한 연결 비아들을 포함한다.

[0090] 일부 예들에서, 인터포저 블록의 내부 통로들은 MEMS 코리올리 유량 센서의 인접하게 위치된 N 개의 유출구 직경보다 큰 N 개의 유입구 직경을 갖는다. 달리 말하면, 통로들이 MEMS 코리올리 유량 센서를 향한 방향으로 보다 좁아진다. 예를 들어, 인터포저 블록의 내부 통로들의 유입구 직경은 제 1 직경 (예를 들어, 대략 ¼") 을 가질 수 있고 인터포저 블록의 유출구 직경은 대략 30 내지 1000 micrometers일 수 있지만, 다른 직경들이 사용될 수 있다. 다른 예들에서, 밸브 블록은 또한 내부 통로들의 직경을 감소시키도록 사용될 수도 있다. 예를 들어, 밸브 블록의 유입구 직경은 제 1 직경을 갖고 인터포저 블록으로의 유출구는 제 1 직경보다 작은 제 2 직경을 갖는다. 인터포저 블록의 유입구는 제 2 직경을 갖고 인터포저 블록의 유출구는 제 2 직경보다 작은 제 3 직경 (MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구와 매칭하는) 을 갖는다. 복귀 경로가 반전된다.

[0091] 일부 예들에서, MFC는 MEMS 코리올리 유량 센서들을 통한 플로우들을 검증하기 위해 절대 플로우 검증 (absolute flow verification; AFV) 을 더 채용한다. AFV는 정밀 오리피스, 압력 센서 및 정밀 오리피스의 업스트림의 압력에 기초하여 플로우를 결정하기 위한 룩업 테이블 또는 공식 (가스 특정될 수도 있음) 을 포함한다.

[0092] 일부 예들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 MEMS 코리올리 유량 센서의 특정한 타입들의 수용성 용액들로 인한 부식을 방지하기 위해 미리 결정된 온도 문턱값으로 MEMS 코리올리 유량 센서를 가열하기 위한 가열기를 포함한다. 일부 예들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 또한 환경적 가속/진동을 측정하기 위한 가속도계를 포함한다. 다른 예들에서, 가속도계는 MEMS 코리올리 유량 센서의 배향 또는 상태를 결정하도록 사용될 수 있다. MFC의 동작의 보상 또는 조정이 환경적 가속/진동 및/또는 검출된 배향 또는 상태에 기초하여 수행될 수 있다.

[0093] 일부 예들에서, MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC의 유출구 밸브는 통상적으로 ALD (atomic layer deposition) 또는 ALE (atomic layer etching) 동안 사용된 짧은 펄스 인터벌들 동안 펄싱된 가스들로 하여금 프로세싱 챔버로 전달되게 하도록 프로세싱 챔버에 매우 근접 (10" 미만) 하여 사용된다.

[0094] 본 명세서에 기술된 일부 예들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 반도체 프로세스들 및 재료들을 사용하여 제조된다. 기판 프로세싱 시스템들의 가스 전달 시스템에 의해 전달된 가스들이 60 psig까지 상대적으로 고압력들로 전달될 수도 있다. MEMS 코리올리 유량 센서들은 (1000 sccm 미만, 100 sccm 미만, 10 sccm 미만 및 1 sccm 미만과 같은) 보다 낮은 플로우 레이트들 (flow rate) 을 측정하도록 사용될 수 있다.

[0095] 측정될 저 플로우 레이트들로 인해, 종래의 MEMS 코리올리 유량 센서들의 스테인리스 스틸 튜브들의 직경은 제작이 어려울 수 있다. 달리 말하면, 목표된 질량 유량 레이트들 중 일부를 측정하기 위해, 튜브들의 내경은 통상적으로 스테인리스 스틸 튜브들 및 보다 높은 플로우 레이트들에 대해 사용되는 훨씬 보다 높은 직경들 대신 통상적으로 대략 수십 ㎛ (예를 들어 1000 ㎛ 미만, 250 ㎛ 이하의 직경들 예컨대 10 ㎛ 내지 100 ㎛, 30 ㎛, 등)) 일 것이다. 부가적으로, 일차 공진은 질량으로 나눈 강성 (stiffness) 의 비의 제곱근에 의해 결정된다. 스테인리스 스틸 및 실리콘과 같은 반도체 재료들이 비슷한 경도 값들을 갖지만, 실리콘은 훨씬 보다 작은 질량을 갖는다. 따라서, 실리콘은 보다 높은 공진 주파수를 갖는다. 그 결과, 실리콘 튜브를 사용하는 질량 유량 센서들은 환경적 진동에 의해 잡음이 유발되는 경향이 적다.

[0096] MEMS 코리올리 유량 센서의 튜브는 반도체 재료를 사용한 반도체 프로세싱 동안 제조된다. 예를 들어, 튜브는 제 1 기판 및 제 2 기판의 외부 표면들 내로 튜브의 목표된 형상의 미리 결정된 프로파일의 1/2을 에칭함으로써 형성될 수도 있다. 미리 결정된 프로파일은 반원형, 타원형, 직사각형, "U"-형상, 그리고/또는 다른 프로파일을 포함할 수도 있다. 미리 결정된 1/2 프로파일들이 에칭된 후, 제 1 기판 및 제 2 기판은 서로 대면하는 미러링된 1/2 프로파일들과 직접 콘택트하여 배치되고 정렬된다. 이어서 제 1 기판 및 제 2 기판은 함께 본딩된다. 이어서, 컨포멀한 (conformal) 증착 프로세스 (예컨대 ALD) 는 튜브를 생성하도록 정렬된 프로파일의 내측 표면 상에 박층을 증착하도록 사용될 수도 있다. 예를 들어, 튜브는 실리콘, 실리콘 나이트라이드, 실리콘 다이옥사이드, 실리콘 카바이드 또는 다른 반도체 재료로 이루어질 수도 있다. 그 후, 튜브는 제 1 기판 및 제 2 기판으로부터 제거된다. 예를 들어, 제 1 기판 및 제 2 기판의 재료는 용해되거나 재료-선택적 에칭 프로세스를 사용하여 제거된다.

[0097] 사용시, 가스 또는 액체와 같은 유체가 MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구로 입력된다. 유체는 유입구를 통과하고, 튜브가 진동함에 따라 MEMS 코리올리 센서의 튜브 둘레를 흐르고 유출구로 나간다. 측정 동안, 제어기는 튜브의 공진 주파수로 튜브를 진동시키도록 액추에이터를 제어하고, 센싱 회로에 의해 생성된 신호를 수신하고 프로세싱하고, 그리고 신호에 기초하여 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도를 정확하게 계산한다. MEMS 유량 센서는 센서를 통해 흐르는 유체의 질량 유량 레이트 및 밀도 모두를 정확하게 측정한다. 측정값들은 압력 및 온도에 독립적이다.

[0098] 일부 예들에서, 튜브는 인접한 유입구들 및 유출구들을 갖는 "D"-형상 루프와 같은 커브된 루프를 형성한다. 액추에이터는 튜브의 공진 주파수로 튜브를 진동시킨다. 유체가 튜브 내로 도입되면, 오실레이션의 공진 주파수가 튜브 및 튜브의 유체와 연관된 상승된 관성으로 인해 변화된다. 오실레이션 (Δf_B) 의 공진 주파수의 변화는 유체의 밀도 (ρ) 에 정비례하거나 $\Delta f_B \propto \rho$ 이다.

[0099] 유체가 튜브 둘레를 이동할 때, 오실레이션의 축으로부터 멀어지게 이동하는 유체는 튜브의 유입구 근방의 오실레이션 축으로부터 멀어지게 연장하는 튜브의 제 1 섹션에 힘을 가한다. 유체에 다시 가해지는 힘은 유체로 하여금 튜브의 각 운동량 (angular momentum) 과 매칭하도록 각 운동량의 상승을 경험하게 한다. 유출구 근방의 오실레이션 축을 향해 다시 연장하는 튜브의 제 2 섹션을 통해 오실레이션 축을 향해 유체가 다시 이동하기 때문에, 유체는 제 2 섹션의 각 운동량을 감소하게 하도록 제 2 섹션에 힘을 가한다.

[0100] 그 결과, 튜브의 제 1 섹션은 튜브의 중앙 부분에 대해 마이너스 (negative) 위상 시프트를 경험하는 (예를 들어, 제 1 섹션의 뒤처짐 (lag behind)) 한편, 튜브의 제 2 부분은 튜브의 중앙 부분에 대해 포지티브 (positive) 위상 시프트를 경험한다 (예를 들어, 제 2 섹션은 튜브의 중앙 부분에 앞서 오실레이팅한다). 제 1 부분과 제 2 부분 사이의 위상 차 정도는 MEMS 코리올리 유량 센서의 튜브를 통해 흐르는 질량의 양 또는 질량 유량 레이트에 정비례한다.

[0101] MEMS 코리올리 유량 센서를 통한 유체의 질량 유량 레이트는 이하에 제시된 튜브의 제 1 부분과 제 2 부분 사이

의 위상 시프트 또는 시간 지연 (lag) 과 관련된다:

$$Q_m = \frac{K_u - I_u\omega^2}{2K\,d^2}\tau$$

[0102]

[0103] K_u는 튜브의 온도 종속 강성이고, K는 형상-종속 인자이고, d는 튜브의 폭이고, τ는 시간 지연이고, ω는 오실레이션 또는 진동 주파수이고, 그리고 I_u는 튜브의 관성이다.

[0104] MEMS 코리올리 유량 센서의 Δf_B를 검토함으로써 측정되는 유체의 밀도 측정값을 사용하여, 관성 I_u이 계산될 수도 있고, MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 이동하는 유체의 질량 유량 레이트의 정확한 판독을 발생시킨다. 그 결과, MEMS 코리올리 유량 센서는 밀도 및 질량 유량 레이트 모두의 정확한 결정들을 제공한다.

[0105] 일부 예들에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 밀도 관련 제 1 신호 및 질량 유량 레이트 관련 제 2 신호를 포함하여 적어도 2 개의 신호를 제어기에 제공한다. 예를 들어, 일 신호는 튜브의 오실레이션 주파수 측정값들을 포함할 수도 있고 다른 신호는 위상 시프트 또는 시간 지연 측정값들을 포함할 수도 있다. 제어기는 신호를 수신하고 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 이동하는 유체의 밀도 및 질량 유량 레이트를 계산한다. 제어기는 목표된 플로우 레이트로 유체의 플로우를 조정하기 위해 MEMS 코리올리 유량 센서의 유출구 (또는 유입구) 에 배치된 밸브의 개구부를 조정한다. 다양한 타입들의 밸브들이 솔레노이드 밸브들, 압전 밸브들, 및 MEMS 밸브들을 포함하여 고려된다. 일부 예들에서, 압전 밸브들은 이하에 더 기술된 가스 박스의 밸브 블록에 밸브들의 빽빽한 패키징을 허용하도록 20 ㎜ 또는 10 ㎜ 미만인, 작은 폼 팩터 (form factor) 를 갖는다.

[0106] 다양한 타입들의 MEMS 코리올리 유량 센서들과 관련한 부가적인 정보는 "Micro-MEMS Coriolis Flow Sensor with Integrated Capacitive Readout" 및 R. J. Wiegerink, 978-1-4244-2978-3/09 I.E.E.E. Transactions of Industrial Electronics (2009) 및 "Coriolis Flow, Density and Temperature Sensing with a Single Vacuum Sealed MEMS Chip" D. Sparks, R. Smith, S. Massoud-Ansari, 및 N. Najafi, Solid-State Sensor, Actuator and Microsystems Workshop (2004) 에서 확인할 수 있고, 모두 전체가 참조로서 본 명세서에 인용된다.

[0107] 이제 도 1을 참조하면, 예시적인 기판 프로세싱 시스템 (120) 이 도시된다. CCP (capacitively coupled plasma) 를 사용하는 에칭, 화학적 기상 증착 (chemical vapor deposition) 또는 원자 층 증착 (ALD) 을 위한 프로세싱 챔버가 도시되지만, 본 명세서에 기술된 MEMS 코리올리를 갖는 MFC는 임의의 다른 타입의 기판 프로세싱 시스템들에서 유체들의 질량 유량 레이트 및/또는 밀도를 센싱하도록 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에 기술된 유량 센서들은 리모트 플라즈마 또는 유도 결합 플라즈마 (inductively coupled plasma; ICP) 를 사용하는 기판 프로세싱 시스템들에서 사용될 수 있다. 부가적으로, 기판 프로세싱 시스템들은 스핀 척들, 에칭 시스템들, 증착 시스템들, 등과 같은 저 플로우 레이트들에서 정밀한 질량 유량 제어 및/또는 밀도 측정값들을 필요로 하는 임의의 다른 반도체 장비에서 사용될 수 있다.

[0108] 기판 프로세싱 시스템 (120) 은 기판 프로세싱 시스템 (120) 의 다른 컴포넌트들을 둘러싸고 (사용된다면) RF 플라즈마를 담는 프로세싱 챔버 (122) 를 포함한다. 기판 프로세싱 시스템 (120) 은 상부 전극 (124) 및 ESC (electrostatic chuck) (126) 또는 다른 기판 지지부를 포함한다. 동작 동안, 기판 (128) 이 ESC (126) 상에 배치된다.

[0109] 단지 예를 들면, 상부 전극 (124) 은 프로세스 가스들을 도입하고 분배하는 샤워헤드와 같은 가스 분배 디바이스 (129) 를 포함할 수도 있다. 가스 분배 디바이스 (129) 는 프로세싱 챔버의 상단 표면에 연결된 일 단부를 포함하는 스템 부분을 포함할 수도 있다. 베이스 부분은 일반적으로 원통형이고 프로세싱 챔버의 상단 표면으로부터 이격되는 위치에서 스템 부분의 반대편 단부로부터 방사상 외측으로 연장한다. 샤워헤드의 베이스 부분의 기판-대면 표면, 또는 대면플레이트는 복수의 홀들을 포함하고 이를 통해 전구체, 반응물질들, 에칭 가스들, 불활성 가스들, 캐리어 가스들, 다른 프로세스 가스들 또는 퍼지 가스가 흐른다. 대안적으로, 상부 전극 (124) 은 도전 플레이트를 포함할 수도 있고 프로세스 가스들이 또 다른 방식으로 도입될 수도 있다.

[0110] ESC (126) 는 하부 전극으로서 기능하는 베이스플레이트 (130) 를 포함한다. 베이스플레이트 (130) 는 세라믹 멀티-존 가열 플레이트에 대응할 수도 있는, 가열 플레이트 (152) 를 지지한다. 내열 층 (154) 이 가열 플레이트 (152) 와 베이스플레이트 (130) 사이에 배치될 수도 있다. 베이스플레이트 (130) 는 베이스플레이트 (130) 를 통해 냉각제를 흘리기 위한 하나 이상의 채널들 (136) 을 포함할 수도 있다.

[0111] 플라즈마가 사용되면, RF 생성 시스템 (140) 이 RF 전압을 생성하고 상부 전극 (124) 및 하부 전극 (예를 들어,

ESC (126) 의 베이스플레이트 (130)) 중 하나로 출력한다. 상부 전극 (124) 및 베이스플레이트 (130) 중 다른 하나는 DC 접지되거나, AC 접지되거나, 또는 플로팅할 수도 있다. 단지 예를 들면, RF 생성 시스템 (140) 은 매칭 및 분배 네트워크 (144) 에 의해 상부 전극 (124) 또는 베이스플레이트 (130) 에 피딩되는 RF 전력을 생성하는 RF 전력 생성기 (142) 를 포함할 수도 있다. 다른 예들에서, 플라즈마는 유도적으로 또는 리모트로 생성될 수도 있다.

[0112] 가스 전달 시스템 (150) 은 하나 이상의 가스 소스들 (152-1, 152-2, …, 및 152-N) (집합적으로 가스 소스들 (152)) 을 포함하고, 여기서 N은 0보다 큰 정수이다. 가스 소스들 (152) 은 밸브들 (154-1, 154-2, …, 및 154-N) (집합적으로 밸브들 (154)) 및 질량 유량 제어기들 (mass flow controllers; MFC) (156-1, 156-2, …, 및 156-N) (집합적으로 MFC들 (156)) 에 의해 매니폴드 (160) 에 연결된다. 단일 가스 전달 시스템 (150) 이 도시되지만, 2 개 이상의 가스 전달 시스템들이 사용될 수 있다.

[0113] 온도 제어기 (163) 가 가열 플레이트 (132) 에 배치된 복수의 TCEs (thermal control elements) (164) 에 연결될 수도 있다. 온도 제어기 (163) 는 ESC (126) 및 기판 (128) 의 온도를 제어하기 위해 복수의 TCEs (164) 을 제어하도록 사용될 수도 있다. 온도 제어기 (163) 는 채널들 (136) 을 통한 냉각제 플로우를 제어하도록 냉각제 어셈블리 (166) 와 연통할 수도 있다. 예를 들어, 냉각제 어셈블리 (166) 는 냉각제 펌프, 저장부 및/또는 하나 이상의 온도 제어기들을 포함할 수도 있다. 온도 제어기 (163) 는 ESC (126) 를 냉각하기 위해 채널들 (113) 을 통해 냉각제를 선택적으로 흘리도록 냉각제 어셈블리 (166) 를 동작시킨다.

[0114] 밸브 (170) 및 펌프 (172) 가 프로세싱 챔버 (122) 로부터 반응물질들을 배기하도록 사용될 수도 있다. 시스템 제어기 (180) 가 기판 프로세싱 시스템 (120) 의 컴포넌트들을 제어하도록 사용될 수도 있다.

[0115] 이제 도 2a 내지 도 2c를 참조하면, MFC (156-1) 의 일 예가 도시된다. 도 2a에서, MFC (156-1) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200), 밸브 (204), 및 제어기 (208) 를 포함한다. 제어기 (208) 는 시스템 제어기 (180) 또는 다른 시스템 컴포넌트로부터 목표된 플로우 레이트 신호를 수신한다. 제어기 (208) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 로부터 측정된 플로우 레이트를 수신한다. 제어기 (208) 는 목표된 질량 유량 레이트를 제공하기 위해 측정된 플로우 레이트에 기초하여 밸브 (204) 의 위치를 조정한다. 일부 예들에서, 제어기 (208) 는 PID (proportional, integral derivative) 기반 제어를 사용한다.

[0116] 도 2b에서, 장착 블록 (242) 의 상부 표면 (240) 에 부착된 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 하단 표면 (238) 이 도시된다. 장착 블록 (242) 에 형성된 내부 통로 (254) 가 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 유입구 (250) 로 유체를 전달한다. MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 유출구 (미도시) 가 또 다른 내부 통로 (미도시) 에 연결된다. 일부 예들에서, MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 하단 표면 (238) 은 본딩 재료를 사용하여 장착 블록 (242) 의 상부 표면 (240) 에 본딩된다. 일부 예들에서, 본딩 재료는 실리콘 (Si), 실리콘 다이옥사이드 (SiO_2), 실리콘 나이트라이드 (SiN), 보로실리케이트 유리, 유리 프릿 (frit), 석영, 및/또는 금속을 포함한다. 일부 예들에서, 장착 블록 (242) 은 스틸, 세라믹, 유리 또는 반도체 재료와 같은 재료로 이루어진다.

[0117] 도 2c에서, 7을 참조하면, MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 가 더 상세히 도시된다. 일부 예들에서, MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 가속, 운동, 진동, 배향 또는 상태를 측정하기 위한 가속도계 (256) 를 포함한다. MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 다양한 위치들 또는 존들의 국부화된 가열을 수행하기 위해 저항성 가열기들과 같은 하나 이상의 가열기들 (258) 을 더 포함할 수도 있다.

[0118] MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 는 내부 통로 (262) 에 의해 연결되는 유입구 (260) 를 규정하는 반도체 기판 (201) 을 포함한다. 튜브 (264) 가 반도체 기판 (201) 으로부터 연장하고 반도체 재료로 이루어진다. 튜브 (264) 의 유출구는 내부 통로 (268) 에 의해 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 유출구 (270) 에 연결된다. MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 는 본딩 배선들, 핀들, 도전체들, 및/또는 PCB 트레이스들 (모두 미도시) 또는 다른 타입의 연결부를 사용하여 MFC 제어 회로 (280) 에 연결되는 복수의 외부 패드들 또는 콘택트들 (272) 을 더 포함한다.

[0119] MEMS 제어 회로 (280) 는 액추에이터 회로 (284) 및 판독 회로 (288) 를 포함한다. 액추에이터 회로 (284) 는 튜브 (264) 의 공진 주파수로 튜브 (264) 를 진동시키도록 출력 신호를 생성한다. 예를 들어, 액추에이터 회로 (284) 는 튜브 (264) 를 진동시키는 정전력을 생성한다. 판독 회로 (288) 는 튜브 (264) 의 운동 및/또는 꼬임 (twisting), 튜브 (264) 의 공진 주파수 및/또는 위상 시프트 또는 시간 지연의 변화들을 센싱하도록 센싱 회로

(274) 에 연결된다. 일부 예들에서, 센싱 회로 (274) 는 용량성 센싱 회로를 포함한다. MFC 제어 회로 (280) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 상에 위치된 하나 이상의 가열기들 (258) 을 구동하기 위한 가열기 구동기 회로 (290) 를 더 포함할 수도 있다. 온도 센서 (도 12a) 가 MEMS 코리올리 유량 센서의 온도 및/또는 이를 통해 흐르는 가스들을 센싱하기 위해 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 에 배치될 수도 있다.

[0120] 이제 도 3을 참조하면, 절대 플로우 검증기 (AFV) (300) 를 갖는 MFC (156-1) 의 또 다른 예가 도시된다. MFC (156-1) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200), 밸브 (204), 및 제어기 (208) 를 포함한다. AFV (300) 는 정밀 오리피스 (320) 및 압력 센서 (324) 를 더 포함한다. 정밀 오리피스 (320) 는 오리피스가 미리 결정된 공지의 사이즈 및 형상을 갖고 방해하는 것이 없다면 "정밀한 (precise)" 것으로 간주된다. 압력 센서 (324) 는 정밀 오리피스가 초크된 플로우 조건 (choked flow condition) 에서 동작할 때 정밀 오리피스 (320) 로부터 업스트림 압력을 센싱한다. 가스들이 음속으로 정밀 오리피스를 나갈 때 초크된 플로우 조건이 발생한다.

[0121] 시스템 제어기 (208) 는 가스 및 업스트림 압력의 함수로서 플로우 레이트를 계산하기 위해 룩업 테이블 (lookup table; LUT) (328) 을 더 포함하거나 수학적 관계를 사용한다. LUT (328) 는 (초크된 플로우 조건들에서 동작할 때) 정밀 오리피스의 유입구의 압력과 플로우 레이트 사이의 관계를 저장한다. LUT (328) 는 MFC (156-1) 를 통해 흐르고 이에 의해 측정될 가스의 타입으로 더 액세스될 수도 있다.

[0122] 제어기 (208) 는 시스템 제어기 (180) 또는 다른 시스템 컴포넌트로부터 목표된 플로우 레이트 신호를 수신한다. 제어기 (208) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 로부터 측정된 플로우 레이트를 수신한다. 제어기 (208) 는 목표된 질량 유량 레이트를 제공하기 위해 측정된 플로우 레이트에 기초하여 밸브 (204) 의 위치를 조정한다.

[0123] AFV 동안, 제어기 (208) 는 압력 센서 (324) 로부터 압력 측정값을 수신한다. 주어진 제어기 (208) 가 전달될 가스를 알면, 제어기 (208) 는 LUT (328) 에 액세스하고 업스트림 압력에 기초하여 플로우 레이트를 결정한다. 제어기 (208) 는 목표된 질량 유량 레이트와 AFV 플로우 레이트 를 비교하고 플로우 에러를 생성한다. 일부 예들에서, 플로우 에러는 (MFC에 의해 측정된 플로우 레이트 사이의 차 - AFV에 의해 측정된 플로우 레이트)/MFC에 의해 측정된 플로우 레이트를 결정함으로써 계산된다. 일부 예들에서, 제어기 (208) 는 플로우 에러에 기초하여 MFC (156-1) 의 동작을 조정한다. AFV와 관련한 부가적인 상세들은 2010년 10월 26일 허여되고 명칭이 "Methods for Performing Actual Flow Verification"인 공동으로 양도된 미국 특허 제 7,822,570 호에서 알 수 있고, 이는 전체가 참조로서 본 명세서에 인용된다.

[0124] 이제 도 4를 참조하면, 도 3의 시스템을 사용하여 AFV를 수행하는 방법이 도시된다. 402에서, MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 가스의 질량 유량 레이트가 MEMS 코리올리 유량 센서를 사용하여 측정된다. 406에서, 가스가 초크된 플로우 조건에서 동작하는 정밀 오리피스를 통해 흐른다. 일부 예들에서, 밸브가 AFV가 목표되면 플로우를 방향전환하기 위해 (divert) 사용될 수 있다. 410에서, 정밀 오리피스로부터 압력 업스트림이 압력 센서를 사용하여 측정된다. 414에서, 플로우 레이트는 측정된 압력 및 흐르는 가스에 기초하여 결정된다. 416에서, 플로우 레이트 에러가 결정된다. 일부 예들에서, 플로우 레이트 에러는 MEMS 코리올리 유량 센서에 의해 측정된 플로우 레이트로 나눈 (MEMS 코리올리 유량 센서에 의해 측정된 플로우 레이트 간 차 - AFV에 의해 측정된 플로우) 의 비이다. 418에서, MEMS 코리올리 유량 센서의 질량 유량 레이트가 플로우 레이트 에러에 기초하여 조정된다. 예를 들어, 플로우 레이트가 +5% 에러를 가지면, MEMS 코리올리 유량 센서는 -5%만큼 판독치를 조정한다. 일부 예들에서, AFV 측정이 가스가 방향전환되는 동안 또는 캘리브레이션 절차 동안 정상적인 동작 동안 수행될 수 있다.

[0125] 이제 도 5를 참조하면, MEMS 코리올리 유량 센서들을 갖는 멀티플렉싱된 MFC들을 포함하는 가스 전달 시스템 (500) 이 도시된다. 통상적인 가스 박스가 프로세싱 챔버로 선택적으로 전달되는 많은 수의 가스 소스들을 포함할 수도 있다. 예를 들어, 일부 가스 박스들은 전달될 수 있는 16 또는 22 개의 상이한 가스 소스들 및/또는 가스 혼합물들을 포함한다. 그러나, 통상적으로, 레시피가 6 개 이하의 가스들을 동시에 사용할 것이다. 일부 예들에서, 6 개의 가스 그룹들이 사용되지만 부가적인 또는 보다 적은 가스 그룹들이 사용될 수 있다. 본 개시에 따라, 가스 박스의 가스 소스들은 유사하거나 양립가능한 타입들의 가스들을 갖는 복수의 가스 그룹들로 그룹화된다. 예를 들어, 1 이하의 반응성 가스가 가스 그룹마다 공급된다. 복수의 불활성 가스들이 단일 MFC 그룹을 사용하여 공급될 수 있거나 몇몇 MFC 그룹들에 걸쳐 확산될 수 있다. 예를 들어, 분자 질소 (N_2), 황 헥사플루오라이드 (SF_6), 테트라플루오로메탄 (CF_4) 및 아르곤 (Ar) 이 일 MFC 그룹으로 공급될 수 있다. 가스 그룹들로 가스들의 배열은 사용될 적용예 및 특정한 가스들에 종속될 것이다. 가스들의 그룹 각각으로부터 일 가스가 단일 MFC를 사용하여 전달된다. 인식될 수 있는 바와 같이, 보다 적은 배관 (plumbing) 및 보다 높은 MFC

들에 대한 가스 소스들의 비 (>=2:1) (예를 들어, 1 MFC에 대해 1보다 작은 가스 소스) 로 인해 가스 박스의 비용이 상당히 감소된다.

[0126] 도 5에서, 가스 전달 시스템 (500) 은 복수의 가스 그룹들 (502-1, 502-2, …, 502-Q) (집합적으로 가스 그룹들 (502)) (여기서 Q는 1보다 큼) 을 포함한다. 가스 그룹 (502-1) 은 가스 소스들 (512-11, 512-12, …, 및 512-1M) (집합적으로 가스 소스들 (512-1)) (여기서 M은 1보다 큰 정수임) 을 포함한다. 가스 소스들 (512-1) 각각은 밸브 (514-11, 514-12, …, 및 514-1M) (집합적으로 밸브들 (514-1)) 로 출력한다. 밸브들 (514-1) 은 가스들을 턴온 및 턴오프하도록 사용된다. 모든 밸브들 (514-1) 의 출력들은 가스 노드에서 결합되고 MEMS 코리올리 유량 센서 (200-1) 의 유입구로 피딩된다. 제어기 (208-1) 는 밸브들 (514-1) 을 사용하여 미리 결정된 시간에 출력될 가스를 선택하고, 선택된 가스의 플로우 레이트를 측정하고, 질량 유량 레이트를 목표된 값으로 조정하도록 대응하는 밸브 (204-1) 를 제어한다.

[0127] 가스 그룹 (502-2) 은 가스 소스들 (512-21, 512-22, …, 및 512-2P) (집합적으로 가스 소스들 (512-2)) (P는 1보다 큰 정수이고 P=M 또는 P<>M) 을 포함한다. 가스 소스들 (512-2) 각각은 밸브 (514-21, 514-22, …, 및 514-2P) (집합적으로 밸브들 (514-2)) 로 출력한다. 모든 밸브들 (514-2) 의 출력들은 결합되고 MEMS 코리올리 유량 센서 (200-2) 로 피딩된다. 제어기 (208-2) 는 밸브들 (514-2) 을 사용하여 미리 결정된 시간에 출력될 가스를 선택하고, 선택된 가스의 플로우 레이트를 측정하고, 플로우 레이트를 목표된 값으로 조정하도록 대응하는 밸브 (204-2) 를 제어한다.

[0128] 유사하게, 가스 그룹 (502-Q) 은 가스 소스들 (512-Q1, 512-Q2, …, 및 512-QR) (집합적으로 가스 소스들 (512-Q)) (R은 1보다 큰 정수이고 Q=P 또는 Q<>P) 을 포함한다. 가스 소스들 (512-Q) 각각은 밸브 (514-Q1, 514-Q2, …, 및 514-QR) (집합적으로 밸브들 (514-Q)) 로 출력한다. 모든 밸브들 (514-Q) 의 출력들은 가스 노드에서 결합되고 MEMS 코리올리 유량 센서 (200-Q) 의 유입구로 피딩된다. 제어기 (208-Q) 는 미리 결정된 시간에 출력될 가스를 선택하고, 선택된 가스의 플로우 레이트를 측정하고, 플로우 레이트를 목표된 값으로 조정하도록 밸브 (204-Q) 를 제어한다.

[0129] 일부 예들에서, 0 또는 1 가스가 가스 그룹들 (502-1, …, 및 502-Q) 각각으로부터 선택된다. 다른 예들에서, 2 개의 가스들이 가스 그룹들 (502-1, …, 및 502-Q) 각각으로부터 선택되고 측정 전에 노드에서 혼합된다. 가스 그룹들 (502-1, …, 및 502-Q) 각각의 출력들은 프로세스 가스 혼합물을 생성하도록 매니폴드 (160) 로 전달된다. 인식될 수 있는 바와 같이, 가스 박스의 비용은 보다 적은 MFC들 및 보다 적은 복잡한 배관으로 인해 (질량 유량 측정 전 가스 플로우 통로들의 조합으로 인해) 상당히 감소될 수 있다.

[0130] 이제 도 6을 참조하면, MEMS 코리올리 유량 센서들을 포함하는 멀티플렉싱된 MFC들을 포함하는 가스 전달 시스템 (600) 이 도시된다. 가스 전달 시스템 (600) 은 정밀 오리피스들 (610-1, 610-2, …, 및 610-Q) (집합적으로 정밀 오리피스들 (610)) 및 정밀 오리피스들 (610) 로부터 업스트림에 위치된 압력 센서들 (620-1, 620-2, …, 및 620-Q) (집합적으로 압력 센서들 (620)) 을 더 포함한다. 제어기들 (208-1, 208-2, …, 및 208-Q) 각각은 수학식을 구현하기 위한 LUT (630-1, 630-2, …, 및 630-Q) 또는 모듈을 포함한다. 인식될 수 있는 바와 같이, 제어기들 (208-1, 208-2, …, 및 208-Q) 이 목표된 질량 유량 레이트, 측정된 질량 유량 레이트 및 AFV를 사용하여 계산된 플로우 레이트 에러에 기초하여 밸브들을 제어한다.

[0131] 이제 도 7을 참조하면, 인터포저 블록을 포함하는 멀티플렉싱된 MFC (700) 가 도시된다. 멀티플렉싱된 MFC (700) 는 멀티플렉싱된 MFC 각각에 대해 T 개의 그룹들의 유입구 튜브들 (704-1, 704-2, …, 704-T) (집합적으로 유입구 튜브들 (704)) 및 유출구 튜브들 (706-1, 706-2, …, 706-T) (집합적으로 유출구 튜브들 (706)) 을 포함한다 (T는 1보다 큰 정수). 유입구 튜브들 (704-1) 의 그룹 및 대응하는 유출구 튜브 (706-1) 는 밸브 블록 (712) 에 연결된다. 일부 예들에서, 밸브 블록 (712) 은 스테인리스 스틸, 세라믹, 또는 다른 재료로 이루어진다.

[0132] 밸브 블록 (712) 내에 규정된 내부 통로들 (716) 은 유입구 튜브들 (704) 의 그룹의 튜브 각각을 대응하는 밸브들 (718) 의 유입구들에 연결한다. 밸브들 (718) 은 대응하는 가스 또는 가스 혼합물에 대한 온/오프 밸브들로서 동작한다. 유입구 튜브들 (704) 의 그룹들 각각에 대한 밸브들 (718) 의 유출구들은 내부 통로들 (720) 에 의해 밸브 블록 (712) 에 또는 이하에 더 기술된 인터포저 블록 (725) 에 배치될 수도 있는 공통 노드 또는 접합부 (724) 에 연결된다.

[0133] 내부 통로들 (720) 은 노드 또는 접합부 (724) 에 연결되고 이어서 인터포저 블록 (725) 의 내부 통로 (726) 를 통해 복수의 MEMS 코리올리 유량 센서들 (736) 중 하나의 유입구 (730) 로 흐른다. 일부 예들에서, 밸브 블록

(712) 이 상기 기술된 방법들을 사용하여 인터포저 블록 (725) 에 본딩된다. 일부 예들에서, "C"-시일들 (seal) 은 밸브 블록 (712) 과 인터포저 블록 (725) 사이에 시일을 생성하도록 사용된다.

[0134] 인터포저 블록 (725) 의 내부 통로들 (737) 이 MEMS 코리올리 유량 센서들 (736) 의 유출구들 (732) 에 연결된다. 밸브 블록 (712) 의 내부 통로들 (738) 은 내부 통로들 (737) 을 밸브들 (739-1, 739-2, …, 및 739-T) (집합적으로 밸브들 (739)) 의 유입구들에 연결한다. 밸브들 (739) 은 MEMS 코리올리 유량 센서 (736) 를 통한 가스의 플로우 레이트를 제어하기 위해 제어기에 의해 사용되는 가변 밸브들이다. 밸브 블록 (712) 의 내부 통로들 (740) 이 유출구 튜브들 (706) 에 연결된다.

[0135] 일부 예들에서, 모든 MEMS 코리올리 유량 센서들 (736) 이 단일 다이에 집적된다. 다른 예들에서, MEMS 코리올리 유량 센서들은 다이스되고 (diced) 개별적으로 패키징된다. MEMS 코리올리 유량 센서들 (736) 상의 패드들 또는 단자들 (742) 이 (납땜될 수도 있는) 본딩 배선들 (744) 및/또는 하나 이상의 커넥터들 (746) 에 의해 PCB (printed circuit board) (750) 의 트레이스들 (미도시) 에 연결된다. 하나 이상의 제어 회로들 (754) 이 PCB (750) 에 연결된다. 일부 예들에서, 제어 회로들 (754) 은 하나 이상의 집적 회로들을 포함하고, 각각은 프로세서, 메모리 및 제어 프로그램을 포함한다.

[0136] 이제 도 8a 내지 도 8c를 참조하면, 멀티플렉싱된 MFC (800) 의 또 다른 예가 도시된다. 도 7에서, 704-1과 같은 유입구 튜브들의 그룹이 706-1과 같은 대응하는 유출구 튜브에 인접하게 배치된다. 도 8a에서, 그러나, 유입구 튜브들의 그룹 (704-1, …, 및 704-T) 이 서로 옆에 배치되고 (도 8a에서 좌측) 및 유출구 튜브들 예컨대 (706-1, …, 및 706-T) 가 서로 인접하게 배치된다 (도 8a에서 우측). 도 7의 인터포저 블록 (725) 은 단일층의 가스들을 라우팅하지만, 도 8a의 인터포저 블록 (825) 은 복수의 가스 라우팅 층들 및 상호접속 비아들을 포함한다. 인터포저 블록 (825) 이 도 8a에서 2 개의 층들을 포함하지만, 부가적인 층들이 사용될 수 있다.

[0137] 도 8b 및 도 8c에서, 인터포저 블록 (825) 은 유입구 튜브들 예컨대 704-1로부터 인터포저 블록 (825) 의 하부 층 (도8b 및 도 8c에서 848 또는 870) 의 내부 통로들 (850, 860 및 862) 로 가스들을 지향시키는 비아들 (830) 을 포함한다. 비아들 (834) 은 인터포저 블록 (825) 의 하부 층 (848 또는 870) 의 내부 통로들 (850, 860 및 862) 로부터 가스들을 MEMS 코리올리 유량 센서들 (736) 중 하나의 유입구 (730) 로 다시 지향시킨다. 내부 통로들 (835) 은 MEMS 코리올리 유량 센서들 (736) 각각의 유출구들 (732) 을 대응하는 유출구 튜브들 (706) 에 연결한다.

[0138] 도 8c에서 알 수 있는 바와 같이, 내부 통로들 (850, 860 및 862) 의 길이들이 밸브들 (718) 로부터 MEMS 코리올리 유량 센서 (736) 의 유입구들 (730) 로의 거리들을 등가화하기 (equalize) 위해 가변될 수 있다. 유사하게, 밸브들 (718) 의 위치들은 플로우 경로 길이들을 더 등가화하기 위해 필요한만큼 밸브 블록 (712) 내에서 가변할 수 있다 (예를 들어, 도8a에서 위 및 아래).

[0139] 이제 도 9a 내지 도 9c를 참조하면, 인터포저 블록 (930) 을 포함하는 MFC (900) 의 또 다른 예가 도시된다. 선행하는 예들은 2:1 이상의 비로 MFC들을 멀티플렉싱하는 것을 도시하지만, 1:1 비가 MFC와 연관될 가스 소스 각각에 사용될 수도 있다. 도 9a에서, 유입구 튜브 (904) 가 밸브 블록 (912) 의 내부 통로 (906) 에 의해 밸브 (908) 에 연결된다. 밸브 (908) 의 유출구가 내부 통로 (910) 에 의해 인터포저 블록 (930) 의 내부 통로 (924) 의 유입구에 커플링된다. 내부 통로 (924) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (736) 의 유입구에 연결된다.

[0140] 도 9b에서, MEMS 코리올리 유량 센서 (736) 의 유출구 (732) 가 비아 (936) 에 의해 인터포저 블록 (930) 의 하부 층 (940) 의 내부 통로 (942) 에 연결된다. 비아 (944) 가 내부 통로 (942) 를 하부 층 (940) 으로부터 밸브 블록 (912) 의 내부 통로 (948) 에 연결한다. 내부 통로 (948) 는 밸브 (950) 의 유입구에 연결된다. 밸브 (950) 의 유출구가 밸브 블록 (912) 의 내부 통로 (952) 에 의해 유출구 튜브 (954) 에 연결된다. 다른 유입구 튜브들이 유사한 방식으로 인접한 유출구 튜브들에 연결된다.

[0141] 도 9c에서, MEMS 코리올리 유량 센서 (736) 의 유출구가 비아 (936) 에 의해 인터포저 블록 (930) 의 하부 층 (960) 의 내부 통로 (962) 에 연결된다. 인식될 수 있는 바와 같이, 선행하는 예들의 내부 통로들이 x-y 방향들에서 직선 접속부들로 규정되지만, 내부 통로들은 또한 962에서 알 수 있는 바와 같이 일부 다각형 경로들을 가질 수 있다. 비아 (944) 는 내부 통로 (962) 를 밸브 블록 (912) 의 내부 통로 (948) 에 연결한다.

[0142] 이제 도 10을 참조하면, 가스들을 짧은 인터벌들 (예를 들어, 10 초, 5 초, 2 초 또는 1 초 미만) 로 주입 또는 펄싱하기 위해 프로세싱 챔버에 바로 인접한 부가적인 가스 전달 시스템 (1010) 을 포함하는 기판 프로세싱 시스템 (1000) 이 도시된다. 예를 들어, 부가적인 가스 전달 시스템 (1010) 은 프로세싱 챔버의 미리 결정된 거리 d 내에 유출구를 갖는 밸브를 사용하여 펄싱된 가스들을 전달한다. 일부 예들에서, 거리 d는 10 인치 미만

이다. 다른 예들에서, 거리 d는 5 내지 6 인치 미만이다.

[0143] ALD (atomic layer deposition) 및 ALE (atomic layer etching) 와 같은 적용예들에서, 가스들은 대략 모노레이어의 막을 증착하거나 에칭하기 위해 매우 짧은 인터벌들 동안 신속하게 펄싱된다. 매니폴드 (160) 로부터 프로세싱 챔버 (122) 로 가스들의 이송 시간은 상대적으로 길 수 있다. 예를 들어, 이송 거리는 매니폴드 (160) 로부터 가스 분배 디바이스 (129) (예컨대 샤워헤드) 까지 대략 10 피트일 수도 있다. 이 문제를 저감하기 위해, 일부 기판 프로세싱 시스템들이 매니폴드 (160) 의 유출구와 프로세싱 챔버 근방의 전달 위치 사이에 가스들을 트랩하기 (trap) 의해 매니폴드 (160) 다음 프로세싱 챔버 (122) 옆에 밸브 (1020) 를 위치시킨다. 펄스 지속기간이 매우 짧으면, 이송 거리는 상당히 감소될 것이다.

[0144] 부가적인 가스 전달 시스템 (1010) 은 가스 소스 (1030), 밸브 (1040), 및 MEMS 코리올리 유량 센서 (MCFS) (1060) 및 밸브 (1070) 를 포함하는 MFC (1050) 를 포함한다. 밸브 (1070) 의 유출구가 챔버로부터 미리 결정된 거리 d 내에 위치된다. 인식될 수 있는 바와 같이, 감소된 이송 거리는 펄싱된 가스 전달 동안 응답 시간을 상당히 개선한다. 일부 예들에서, 부가적인 가스 전달 시스템 (1010) 이 펄싱된 가스들을 전달하기 위해 사용될 때 밸브 (1020) 는 생략될 수도 있다. 단일 펄싱된 가스를 전달하기 위해 단일 가스 채널이 도시되지만, 유사한 구조를 갖는 부가적인 가스 소스들 및 채널들 및 상이한 가스들이 제공될 수도 있다. 일부 예들에서, MFC 는 상기 기술된 바와 같이 복수의 펄싱된 가스 소스들을 위해 멀티플렉싱될 수 있다. 일부 예들에서, AFV는 상기 기술된 바와 같이 펄싱된 가스들의 플로우들을 검증하기 위해 사용될 수 있다. 일부 예들에서, 분자 산소 (O_2) 가 공급되지만, 다른 가스가 사용될 수도 있다.

[0145] 이제 도 11a를 참조하면, 시스템 (1100) 이 MEMS 코리올리 유량 센서 (1110) 의 가속도계 (1114) 에 의해 검출된 가속, 진동, 배향, 상태 또는 다른 파라미터들 또는 조건들에 기초하여 동작을 조정하도록 가속 제어 회로 (1124) 를 갖는 MFC 제어 회로 (1120) 를 포함한다. 가속 또는 진동 측정값이 배향 또는 상태 검출 및/또는 환경적 진동의 검출을 포함하는 다양한 방식들로 사용될 수 있다. 예를 들어, 튜브의 진동은 기준 (baseline) 진동을 결정하기 위해 공진 주파수로 진동하기 전 측정될 수 있다. 이어서, 튜브는 공진 주파수로 진동하고 기준 진동이 감산되거나 보상이 기준 진동의 효과를 완화시키도록 수행된다.

[0146] 이제 도 11b 및 도 11c를 참조하면, 도 11a의 가속 제어 회로를 동작시키는 방법들의 예들이 도시된다. 도 11b에서, 방법 (1140) 은 가속도계 (1114) 에 의해 검출된 진동이 미리 결정된 진동 문턱값을 초과할 때 에러 통지들을 생성하거나 보상을 수행하도록 도시된다. 일부 예들에서, 진동 문턱값은 진동의 주파수에 대응하고 그리고/또는 다른 예들에서 미리 결정된 진동 문턱값은 진동 진폭에 대응한다. 1142에서, 방법은 MEMS 코리올리 유량 센서의 진동을 검출한다. 1144에서, 방법은 검출된 진동 주파수 및/또는 진폭이 미리 결정된 문턱값보다 큰지 여부를 결정한다. 1144가 참이면, 가속 제어 회로 (1124) 는 에러 통지를 생성하거나 MFC의 동작을 변경한다.

[0147] 도 11c에서, 또 다른 방법 (1160) 은 MEMS 코리올리 유량 센서의 배향, 상태, 가속, 또는 다른 조건들을 검출하고 그에 기초하여 캘리브레이션을 선택한다. 일부 예들에서, 가속도계 (1114) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (1110) 의 배향 또는 상태를 검출하기 위해 사용된다. 다른 예들에서, 다른 센서들이 MEMS 코리올리 유량 센서 (1110) 의 파라미터들을 센싱하고, MEMS 코리올리 유량 센서 (1110) 의 상태가 결정되고 캘리브레이션이 선택된다.

[0148] 1162에서, 방법은 MEMS 코리올리 유량 센서의 배향, 가속, 상태 또는 다른 조건들을 검출한다. 1164에서, 방법은 센서가 제 1 상태 또는 배향인지 여부를 결정한다. 일부 예들에서, 제 1 상태는 제 1 배향, 상태, 가속, 진동 또는 다른 조건에 대응한다. 일부 예들에서, 제 1 상태는 제 1 미리 결정된 범위의 값들을 포함할 수도 있다. 센서가 제 1 상태이면, 제어기는 1168에서 제 1 캘리브레이션 공식 또는 룩업 테이블을 사용하고 그리고/또는 공식의 가중치들 및/또는 인자들을 조정한다. 1164가 거짓이면, 방법은 센서가 제 2 상태인지 여부를 결정한다. 일부 예들에서, 제 2 상태는 제 2 미리 결정된 범위의 값들을 포함할 수도 있다. 센서가 제 2 상태이면, 제어기는 1174에서 제 2 캘리브레이션 공식 또는 룩업 테이블을 사용하고 그리고/또는 공식의 가중치들 및/또는 인자들을 조정한다. 부가적인 상태들 (1172 및 1174 및/또는 1178 및 1180에서 각각 N-1 및 N) 이 캘리브레이팅될 수 있다. MEMS 코리올리 유량 센서의 상태가 변화한다고 1170에서 결정되면, 캘리브레이션은 1162로 돌아감으로써 반복될 수 있다.

[0149] 단지 예를 들면, 제 1 상태 또는 배향은 하단 표면 상에 위치된 유입구들 및 유출구들을 갖고 지면에 평행한 평면으로 배향되는 튜브에 대응할 수도 있고, 제 2 상태 또는 배향은 지면에 평행한 평면에 수직으로 배향되는 튜브에 대응할 수도 있고, 다른 상태들 또는 배향들이 이들 사이의 배향들에 대응할 수도 있다. 인식될 수 있는

바와 같이, 튜브가 지면에 수직으로 배치될 때, 중력, 부력 및/또는 다른 효과들이 튜브의 진동에 영향을 주고 보상을 필요로 할 수도 있다. 다른 예들에서, MEMS 코리올리 센서의 배향은 MEMS 코리올리 센서가 배향들 또는 상태들 중 선택된 하나일 때에만 인에이블된다.

[0150] 이제 도 12a 및 도 12b를 참조하면, MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 의 온도를 제어하기 위한 시스템 (1200) 이 도시된다. MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 의 가열이 도시되지만, 내부 통로들 및 블록들의 가열은 또한 수용성 용액들에 의해 유발된 부식을 방지하기 위해 유지보수 후 수행될 수도 있다. 염소 (Cl) 종 및 수소 브로마이드 (HBr) 와 같은 일부 가스들이 물과 같은 형태일 때 부식을 유발할 수도 있다. 주변 공기의 물이 수용성 용액들을 생성하기 위해 이들 종과 결합할 수 있다.

[0151] 따라서, 일부 예들에서, 200 ℃와 같은 미리 결정된 온도로 MFC 및/또는 근방 플로우 경로들의 가열은 부식을 방지하기 위해 유지보수 동안 또는 후 미리 결정된 기간 동안 수행된다. 일부 예들에서, 프로세싱 챔버 및 공급 라인들의 퍼지는 가열 절차 후 불활성 가스를 사용하여 수행된다. 일부 예들에서, 라인들의 가열은 프로세싱 챔버의 내부 컴포넌트들이 외기 (ambient) 에 노출될 수 있는 챔버 개방, 가스 라인들 개방 및/또는 보틀 변화들과 같은 유지보수 절차들 후 수행된다.

[0152] 도 12a에서, MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 는 가열기 (1214) 및 온도 센서 (1216) 를 포함한다. 일부 예들에서, 가열기 (1214) 는 저항성 가열기를 포함한다. MFC 제어 회로 (1220) 가 가열기 제어 회로 (1224) 를 포함한다. 가열기 제어 회로 (1224) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 의 온도 및/또는 MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 를 통해 흐르는 가스들의 온도에 대응하는 온도 측정값들을 수신한다. 가열기 제어 회로 (1224) 는 측정된 온도를 하나 이상의 미리 결정된 온도 문턱값들에 비교한다. MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 의 온도 및/또는 MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 를 통해 흐르는 가스들의 온도가 미리 결정된 문턱값 이하로 떨어지면, 가열기 제어 회로 (1224) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 의 온도 및/또는 MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 를 통해 흐르는 가스들의 온도를 상승시키도록 가열기 (1214) 에 전력을 공급한다. 일부 예들에서, 적용되는 미리 결정된 온도 문턱값은 MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 를 통해 흐르는 가스의 타입에 기초하여 선택된다. 다른 예들에서, 적용되는 미리 결정된 온도 문턱값은 MEMS 코리올리 유량 센서 (1210) 를 통해 흐르는 가스의 타입에 종속된다.

[0153] 도 12b에서, MEMS 코리올리 유량 센서에 배치된 가열기를 제어하는 방법 (1240) 이 도시된다. 1242에서, MEMS 코리올리 유량 센서 또는 MEMS 코리올리 유량 센서를 통해 흐르는 가스들의 온도가 검출된다. 1244에서, 온도가 미리 결정된 문턱값에 비교된다. 온도가 미리 결정된 문턱값보다 낮다고 1244에서 결정되면, 온도는 1248에서 가열기를 사용하여 조정된다. 일부 예들에서, 제어 회로가 신속하게 가열기를 턴온 및 턴오프하는 것을 방지하도록 히스테리시스 (hysteresis) 가 사용될 수 있다. 달리 말하면, 측정된 온도가 미리 결정된 온도 문턱값 이하의 미리 결정된 변화 (delta) 온도만큼 떨어질 때 가열기가 액추에이팅된다.

[0154] 이제 도 13을 참조하면, (가속도계 (256) 를 사용하여 검출되는) MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 진동의 변화들에 기초하여 가스를 공급하는 밸브가 정확하게 개방 또는 폐쇄되는지 여부를 검출하는 방법 (1310) 이 도시된다. MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 진동은 밸브가 개방되고 가스가 동작 동안 흐르는 동안 공진 주파수의 튜브의 진동에 크게 기인한다. 따라서, MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 진동의 변화들 (및 일부 예들에서 대응하는 동작 상태의 변화들) 이 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 동작을 진단하기 위해 사용될 수 있다.

[0155] 도 13에 도시된 방법이 밸브 폐쇄/개방 천이와 관련되지만, 유사한 접근방식이 밸브 개방/폐쇄 천이를 위해 사용될 수 있다. 1320에서, MEMS 코리올리 유량 센서의 진동은 밸브의 개방 전 검출된다. 1324에서, 방법은 밸브가 개방되는지 여부를 결정한다. 1328에서, 1320에서, MEMS 코리올리 유량 센서의 진동은 밸브의 개방 후 검출된다. 진동 측정값들은 MEMS 코리올리 유량 센서의 진동 주파수 및/또는 크기의 샘플링을 포함할 수도 있다. 밸브가 폐쇄된 상태로부터 개방된 상태로 천이되어야 하기 때문에, MEMS 코리올리 유량 센서의 진동은 이 상태 천이 동안 상승해야 한다. 변화가 검출되지 않으면, 밸브의 추가 진단이 수행될 수도 있고 그리고/또는 프로세싱 챔버가 유지보수를 위해 셧다운될 수도 있다. 예를 들어, 진동 레벨들이 변화되지 않은 채로 남으면, 밸브는 이미 개방되었거나 밸브는 개방에 실패한다.

[0156] 1332에서, 하나 이상의 차들이 밸브가 폐쇄되어야 하는 동안과 밸브가 개방된 후 진동 측정값들 사이에서 생성된다. 1336에서, 방법은 하나 이상의 차들이 하나 이상의 대응하는 문턱값들 이하인지 여부를 결정한다. 대안적으로, 개방 명령 전 및/또는 후에 진동 레벨들이 하나 이상의 미리 결정된 값들 또는 범위들과 직접 비교될 수 있다. 예를 들어, 개방 명령 후 진동 레벨이 밸브가 진짜로 개방되는지 여부를 결정하기 위해 개방된 밸브에 대응하는 미리 결정된 값 또는 범위와 비교될 수 있다. 예를 들어, 개방 명령 전 진동 레벨이 밸브가 진짜

로 폐쇄되는지 여부를 결정하기 위해 폐쇄된 밸브에 대응하는 미리 결정된 값 또는 범위와 비교될 수 있다.

[0157] 1336이 참이면, 방법은 1338에서 에러 통지를 생성한다. 일부 예들에서, 대응하는 밸브가 선택가능하게 폐쇄되고 그리고/또는 프로세싱 챔버가 유지보수를 위해 셧다운된다. 인식될 수 있는 바와 같이, 유사한 접근방식이 밸브가 개방된 상태로부터 폐쇄된 상태로 천이할 때 밸브의 동작을 진단하기 위해 사용될 수도 있다. 달리 말하면, 진동이 개방된 상태로부터 폐쇄된 상태로 천이 전 및 후 검출될 수도 있다. 진동은 개방/폐쇄 천이 후 감소되어야 한다. 차들이 생성되고 (개방/폐쇄 천이 전 및 후 그리고 문턱값들에 비교되고) 또는 개방/폐쇄 천이 전 및 후 대응하는 진동 레벨들이 하나 이상의 미리 결정된 문턱값들 또는 범위들과 비교된다.

[0158] 이제 도 14를 참조하면, 또 다른 방법 (1410) 은 밸브가 MEMS 코리올리 유량 센서의 센싱된 진동에 기초하여 폐쇄되는지 여부를 검출함으로써 밸브 동작을 진단한다. 보다 구체적으로, MEMS 코리올리 유량 센서의 진동 레벨이 밸브가 폐쇄되는 동안 상대적으로 일정하게 유지되어야 한다. 폐쇄되는 동안 MEMS 코리올리 유량 센서의 진동에 대한 변화들은 밸브 오동작을 나타낼 수도 있다. 현재 진동 레벨은 하나 이상의 미리 결정된 문턱값들 또는 범위들 및/또는 밸브가 폐쇄된 상태로 명령 받을 때 하나 이상의 이전 인터벌들과 비교될 수 있다.

[0159] 1424에서, 방법은 다운스트림 밸브가 폐쇄되는지 여부를 결정한다. 1428에서, MEMS 코리올리 유량 센서의 진동은 주기적 인터벌들로 또는 이벤트 기반으로 검출된다. 1432에서, 하나 이상의 인터벌들 (예를 들어, 현재 인터벌 및 이전 인터벌) 동안 진동 레벨들 사이의 하나 이상의 차들이 밸브가 폐쇄되는 동안 생성된다. 예를 들어, 진동이 현재 인터벌에 대해 검출되고 하나 이상의 이전 인터벌들 (밸브가 폐쇄될 때) 동안 미리 결정된 진동 문턱값 및/또는 진동 레벨들에 비교된다. 1436에서, 방법은 차들이 문턱값 미만인지 여부를 결정한다. 대안적으로, 방법은 현재 인터벌의 진동을 미리 결정된 진동 문턱값 또는 범위와 비교하고 현재 인터벌의 진동이 미리 결정된 문턱값을 초과 (또는 범위 밖) 하면, 1436으로 진행한다. 1436이 참이면, 방법은 1424로 돌아간다. 1436이 거짓이면, 방법은 에러 통지를 생성한다 (1438). 일부 예들에서, 프로세싱 챔버는 통지에 응답하여 셧다운될 수 있다. 인식될 수 있는 바와 같이, 진동의 변화들이 밸브들의 변칙 동작을 검출하기 위해 사용될 수 있다.

[0160] 이제 도 15를 참조하면, MEMS 코리올리 유량 센서를 갖는 MEMS-기반 MFC는 기판 지지부의 가열기들에 대한 플라즈마 생성, 페데스탈 RF 바이어스 전압들, 온도 제어 신호들 및/또는 다른 제어 또는 바이어스 신호들로 인해 고 RF 신호들에 자주 노출되는 분위기에 위치된다. 측정될 상대적으로 작은 플로우들로 인해, 제어기와 연관된 전자제품들은 민감하고 매우 정밀해야 하고 환경적 간섭에 의해 부정적 영향을 받을 수도 있다. 이에 따라, RF 차폐부 (1510) 가 환경적 간섭을 감소시키기 위해 MFC (156-1) 주변에 배치된다. 일부 예들에서, RF 차폐부 (1510) 는 Faraday 케이지, 금속 하우징, 와이어 메시 또는 접지되거나 또 다른 기준 전위에 연결되는 다른 RF 차폐부를 포함한다. RF 차폐부 (1510) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 동작에 대한 RF 잡음의 영향을 감소시키기 위해 사용될 수도 있다.

[0161] 이제 도 16a 및 도 16b를 참조하면, 튜브의 공진 주파수는 동작상 변동들 및/또는 마모를 검출하도록 모니터링될 수도 있다. 일부 예들에서, 튜브의 공진 주파수는 튜브의 진동의 진폭에 기초하여 결정될 수도 있다. 튜브의 진동의 진폭은 튜브의 공진 주파수들로 상승하는 경향이 있다. 대안적으로, 가속도계는 상승된 진동을 검출하도록 사용될 수 있다. 이 예에서, MEMS 코리올리 유량 센서들은 MFC 제어 회로 (280) 에 튜브의 공진 주파수 및/또는 공진 주파수에 비례하는 (또는 그렇지 않으면 관련된) 다른 데이터를 보고한다. 본 개시에 따른 MEMS 코리올리 유량 센서들은 MFC 제어 회로 (280) 의 공진 주파수 모니터링 모듈로 공진 주파수를 출력한다. MFC 제어 회로 (280) 는 튜브의 공진 주파수를 모니터링하고 이에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 동작을 진단한다. 예를 들어, 공진 주파수의 변화들이 시간에 따라 튜브의 강성이 변화함에 따라 발생할 수도 있다. 유지보수 또는 교체를 개시하기 위해 튜브의 강성의 변화들이 공진 주파수 모니터링 모듈에 의해 사용될 수 있다. 다른 예들에서, 공진 주파수 모니터링 모듈은 튜브 (및 MEMS 코리올리 유량 센서) 의 유지보수 또는 교체가 필요한 미래의 날짜를 추정한다.

[0162] 도 16a에서, MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 는 튜브의 공진 주파수 (264) 를 모니터링하고 다른 제어 기능들을 수행하는 제어기 (1610) 를 더 포함한다. 일부 예들에서, MFC 제어 회로 (280) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 로부터 튜브의 공진 주파수 (264) 를 수신한다. 다른 예들에서, MFC 제어 회로 (280) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 로부터 수신된 다른 데이터에 기초하여 공진 주파수를 결정하거나 계산한다. MFC 제어 회로 (280) 는 공진 주파수 모니터링 모듈 (1620) 을 더 포함한다. 제어기 (1610) 는 튜브의 공진 주파수 (264) (또는 다른 관련된 데이터) 를 MFC 제어 회로 (280) 에 주기적으로 보고한다. 공진 주파수 모니터링 모듈 (1620) 은 시간에 따라 튜브의 공진 주파수를 모니터링한다.

[0163] 도 16b에서, 튜브의 공진 주파수 (264) 를 모니터링하기 위한 방법 (1630) 이 도시된다. 1632에서, 튜브의 공진 주파수 (264) 는 MEMS 코리올리 유량 센서로부터 수신된다. 1636에서, 공진 주파수는 하나 이상의 공진 주파수 문턱값들과 비교된다. 1640에서, 밸브 및/또는 MFC의 동작과 관련된 상세들은 시간에 따라 공진 주파수 값들을 모니터링함으로써 결정될 수 있다. 예를 들어, 비교가 MFC의 동작을 선택가능하게 변경하거나 질량 유량 레이트 계산 (또는 다른 값들의 계산) 의 보상을 가능하게 하도록 사용될 수도 있다.

[0164] 도 17에서, 공진 튜브 (264) 로 출력된 구동 신호에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 성능을 모니터링하기 위한 방법 (1710) 이 도시된다. 튜브의 강성이 시간에 따라 감소됨에 따라, 구동 신호는 감소될 수도 있다. 따라서, 구동 신호의 변화들이 튜브의 강성과 상관될 수도 있다. 1714에서, 튜브로 하여금 공진하게 하도록 튜브 (264) 를 진동시키도록 출력되는 구동 신호가 이벤트 기준 또는 주기적 기준으로 모니터링된다. 1718에서, 현재 구동 신호는 하나 이상의 이전 구동 신호들과 비교된다. 1724에서, 방법은 이 차를 미리 결정된 문턱값과 비교한다. 대안적으로, 구동 신호는 미리 결정된 값들 또는 범위들과 비교될 수도 있다.

[0165] 1728에서, 튜브 (264) 의 추정된 강성이 선택가능하게 계산된다. 1730에서, MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 수명이 시간에 따라 튜브의 강성에 대한 변화들에 기초하여 추정된다. 1732에서, 추정된 강성은 문턱값에 비교된다. 강성이 문턱값보다 크면, 방법은 1714로 돌아간다. 강성이 문턱값보다 작으면, 방법은 1736에서 MEMS 코리올리 유량 센서 (및/또는 MFC) 를 변화시키도록 통지를 생성하거나 MFC가 교체될 준비가 될 가능성이 크면 미래 날짜의 추정을 제공한다.

[0166] 이제 도 18a 내지 도 18c를 참조하면, MFC로 들어가는 가스들의 응결을 방지하기 위해 업스트림 압력이 모니터링될 수 있다. 가스의 압력이 가스의 증기 압력을 초과하면, 가스가 액체로 응결된다. 가스 라인들의 액체는 결함들을 유발하고 제거하기 매우 어렵다. 따라서, 영향을 받은 컴포넌트들은 보통 교체되고, 이는 비용 및 정지 시간을 상승시킨다.

[0167] MFC의 유입구의 압력이 (응결이 발생하기 쉬운) 미리 결정된 압력보다 클 때, 바이패스 경로가 MFC를 바이패스하도록 사용될 수도 있고, 이는 응결 압력 이하로 유입구의 압력을 하강시킨다. 인식될 수 있는 바와 같이, MFC의 제어기는 전달되는 총 질량 유량 레이트를 결정하기 위해 (바이패스 경로가 개방될 때) 바이패스 경로의 질량 유량 레이트를 처리한다.

[0168] 도 18a에서, MFC (1800) 는 유입구 압력을 모니터링하기 위해 밸브 (204) 의 업스트림에 배치된 압력 센서 (1820) 를 더 포함한다. 압력 센서 (1824) 가 바이패스 경로를 통한 질량 유량 레이트를 결정하기 위해 밸브 (154-1) 의 다운스트림에 배치될 수도 있다. 일부 예들에서, 밸브 (204) 는 가변 밸브, 피에조 밸브 또는 다른 타입의 밸브를 포함한다. 도 18b에서, MFC (1840) 는 밸브 (204) 및 제한된 오리피스 (1844) 를 포함한다. 일부 예들에서, 밸브 (204) 는 온/오프 밸브를 포함할 수도 있고 제한된 오리피스 (1844) 는 정밀 오리피스를 포함한다.

[0169] 이제 도 18c를 참조하면, 응결을 방지하기 위해 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC의 업스트림 압력을 모니터링하기 위한 방법 (1850) 이 도시된다. 1854에서, MEMS 코리올리 유량 센서는 처음에 폐쇄된 바이패스 밸브와 함께 동작한다. 질량 유량 레이트는 MEMS 코리올리 유량 센서에 의해 계산된다. MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구의 압력이 1858에서 모니터링된다. 1862에서, 방법은 업스트림 압력 P1이 미리 결정된 압력 문턱값보다 큰지 결정한다. 1862가 거짓이면, 방법은 1854로 돌아간다. 1862가 참이면, 방법은 1866에서 계속되고 플로우를 방향전환하고 압력 문턱값 이하 MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구에서 압력을 감소시키도록 바이패스 밸브의 개방을 조정한다. 1870에서, 총 질량 유량 레이트 (바이패스 밸브가 사용될 때) 가 MEMS Coriolis 질량 유량 센서의 질량 유량 레이트, 밸브 위치, 업스트림 압력 및/또는 다운스트림 압력에 기초하여 계산된다. 그 결과, 시스템은 응결을 유발하지 않고 저 증기압 가스들로 사용될 수 있다.

[0170] 이제 도 19를 참조하면, 액체 유체들이 또한 MEMS 코리올리 유량 센서를 갖는 MEMS-기반 MFC에 의해 전달될 수 있다. 액체 전달 시스템 (1900) 이 밸브 (1924) 를 통해 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC (1928) 의 유입구로 액체를 전달하는 액체 소스 (1920) 를 포함한다. MFC (1928) 의 유출구가 액체를 기화시키는 기화기 (1932) 로 공급된다. 기화기 (1932) 는 통상적으로 가열된 엘리먼트 (미도시) 를 포함한다. 기화기 (1932) 로 공급된 액체는 가열된 엘리먼트와 콘택트하고 기화된다.

[0171] 이제 도 20a를 참조하면, MFC (2000) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 를 포함한다. MFC 제어 회로 (280) 는 압축률 계산 모듈 (2010) 을 더 포함한다. MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 유입구 (260) 에 제 1 온도 센서 (2014) 및 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 유출구 (270) 에 제 2

온도 센서 (2016) 를 더 포함한다. MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 는 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 유입구 (260) 에 제 1 압력 센서 (2020) 및 MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 의 유출구 (270) 에 제 2 압력 센서 (2022) 를 더 포함한다. MEMS 코리올리 유량 센서 (200) 는 유입구 및 유출구에서 측정된 온도들 및 압력들을 MFC 제어 회로 (280) 에 보고한다. MFC 제어 회로 (280) 는 상태의 가스 식을 사용하여 튜브 (264) 를 통해 흐르는 가스의 ΔT 및 ΔP 및 압축률 (Z) 을 계산한다.

[0172] 도 20b 내지 도 20d에서, MFC (2000) 에 의해 계산된 압축률을 사용하는 다양한 예들이 도시된다. 도 20b에서, 가스 전달 시스템 (2040) 이 도시된다. MFC (2000) 의 MFC 제어 회로 (280) 는 업스트림 플로우 제어 디바이스 (2050) 및/또는 다운스트림 플로우 제어 디바이스 (2060) 로 측정된 압축률을 출력한다. 도 20c에서, 가스 전달 시스템 (2070) 이 도시된다. MFC (2000) 의 MFC 제어 회로 (280) 는 업스트림 온도-기반 MFC (2072) 및/또는 다운스트림 온도-기반 MFC (2074) 를 제어하는 제어기 (2076) 로 측정된 압축률을 출력한다. 도 20d에서, 가스 전달 시스템 (2080) 이 도시된다. MFC (2000) 의 MFC 제어 회로 (280) 는 업스트림 압력-기반 MFC (2082) 및/또는 다운스트림 압력-기반 MFC (2084) 를 제어하는 제어기 (2086) 로 측정된 압축률을 출력한다.

[0173] 이제 도 21a를 참조하면, 업스트림 또는 다운스트림 플로우 제어 디바이스의 동작을 검증 및/또는 조정하기 위해 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC에 의해 계산된 압축률을 사용하는 방법 (2110) 이 도시된다. 2114에서, 온도 및/또는 압력이 MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구 및 유출구에서 측정된다. 2118에서, 질량 유량 레이트가 MEMS 코리올리 유량 센서를 사용하여 계산된다. 2122에서, 압축률이 ΔT 및/또는 ΔP에 기초하여 계산된다. 일부 예들에서, 상태의 식은 ΔT 및/또는 ΔP에 기초하여 압축률을 계산하기 위해 사용된다. 2124에서, 계산된 압축률은 업스트림 또는 다운스트림 플로우 제어 디바이스로 출력된다. 업스트림 또는 다운스트림 플로우 제어 디바이스는 플로우 제어 디바이스의 동작을 검증하고 그리고/또는 플로우 제어 디바이스를 캘리브레이팅하기 위해 압축률을 사용한다.

[0174] 이제 도 21b를 참조하면, 업스트림 또는 다운스트림 플로우 제어 디바이스의 동작을 검증 및/또는 조정하기 위해 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC에 의해 계산된 압축률을 사용하는 방법 (2140) 이 도시된다. 2144에서, 온도 및/또는 압력은 MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구 및 유출구가 측정된다. 2148에서, 질량 유량 레이트는 MEMS 코리올리 유량 센서를 사용하여 계산된다. 2152에서, 압축률이 ΔT 및/또는 ΔP에 기초하여 계산된다. 일부 예들에서, 상태의 식은 ΔT 및/또는 ΔP에 기초하여 압축률을 계산하기 위해 사용된다. 2154에서, 계산된 압축률은 업스트림 또는 다운스트림 온도-기반 MFC로 출력된다. 업스트림 또는 다운스트림 온도-기반 MFC는 업스트림 또는 다운스트림 온도-기반 MFC의 동작을 캘리브레이팅, 진단 및/또는 조정하기 위해 압축률을 사용한다.

[0175] 이제 도 21c를 참조하면, 업스트림 또는 다운스트림 플로우 제어 디바이스의 동작을 검증 및/또는 조정하기 위해 MEMS 코리올리 유량 센서를 포함하는 MFC에 의해 계산된 압축률을 사용하는 방법 (2160) 이 도시된다. 2164에서, 온도 및/또는 압력은 MEMS 코리올리 유량 센서의 유입구 및 유출구가 측정된다. 2168에서, 질량 유량 레이트는 MEMS 코리올리 유량 센서를 사용하여 계산된다. 2172에서, 압축률이 ΔT 및/또는 ΔP에 기초하여 계산된다. 일부 예들에서, 상태의 식은 ΔT 및/또는 ΔP에 기초하여 압축률을 계산하기 위해 사용된다. 2174에서, 계산된 압축률은 업스트림 또는 다운스트림 압력-기반 MFC로 출력된다. 업스트림 또는 다운스트림 압력-기반 MFC는 업스트림 또는 다운스트림 압력-기반 MFC의 동작을 캘리브레이팅, 진단 및/또는 조정하기 위해 압축률을 사용한다.

[0176] 이제 도 22를 참조하면, MEMS 코리올리 유량 유량 센서들을 갖는 멀티플렉싱된 질량 유량 센서 (MFS) 를 포함하는 가스 전달 시스템 (2200) 이 도시된다. 가스 전달 시스템 (2200) 은 밸브들 (2210-1, 2210-2, …, 및 2210-Q) (집합적으로 밸브들 (2210)) 및 가스 플로우 채널들 (2211-1, 2211-2, …, 및 2211-Q) (집합적으로 가스 플로우 채널들 (2211)) 을 더 포함한다. 밸브들 (2210) 및 가스 플로우 채널들 (2211) 은 플로우 경로들 (2212-1, 2212-2, …, 및 2212-Q) (집합적으로 가스 플로우 채널들 (2212)) 을 진공 소스 및/또는 다른 배기 시스템에 선택적으로 연결한다. 밸브들 (2210) 및 가스 플로우 채널들 (2211) 은 밸브들 (514 및 204) 사이에서 가스 플로우 채널들 (2212-1, 2212-2, …, 및 2212-Q) 을 배기한다. 복수의 가스들이 동작 동안 멀티플렉싱된 MFC들에 의해 공급되기 때문에, 가스 플로우 채널들 (2212) 이 단계들 사이에 잔류 가스들을 제거하고 결함들을 감소시키는 경향이 있다. 다른 예들에서, 가스 플로우 채널들 (2212) 은 또한 동일한 가스가 사용되지만 오래됐을 (stale) 수도 있다.

[0177] 일부 예들에서, 기판 프로세싱 시스템은 기판을 제 1 가스 혼합물에 노출하고, 프로세싱 챔버를 퍼지하고, 기판을 제 2 가스 혼합물에 노출하고, 그리고 프로세싱 챔버를 퍼지하는 단계를 각각 포함하는 복수의 사이클들을

포함하는 ALD (atomic layer deposition) 또는 ALE (atomic layer etching) 를 수행한다. 플라즈마가 단계들 동안 사용될 수도 있다. 일부 예들에서, 가스 플로우 채널들 (2212) 은 제 1 가스 혼합물과 제 2 가스 혼합물 사이에 배기된다. 일부 예들에서, ALD 또는 ALE 사이클들 및/또는 서브-사이클들은 상대적으로 짧다 (예를 들어, 10 초, 5 초, 2 초, 1 초 미만).

[0178] 이제 도 23을 참조하면, 밸브들 (514 및 204) 사이에 잔류 가스를 클리어링하기 위해 도 22의 시스템을 동작시키는 방법 (2410) 이 도시된다. 2414에서, 가스가 멀티플렉싱된 MFS를 사용하여 공급된다. 2416에서, 방법은 가스 소스가 또 다른 타입의 가스로 스위칭될지 여부를 결정한다. 2420에서, 가스를 공급하는 밸브들 (밸브들 (514) 중 하나 및 밸브들 (204) 중 하나) 이 폐쇄된다. 2424에서, 밸브가 밸브들 (514 및 204) 사이에 잔류 가스를 클리어링하기 위해 진공 라인 (또는 배기) 으로 개방된다. 2428에서, 진공 라인 (또는 배기) 으로의 밸브가 폐쇄된다. 방법은 2414로 돌아가고 다음 가스가 공급된다. 인식될 수 있는 바와 같이, 밸브들은 가스 소스가 변화되지 않을 때 오래된 가스들을 클리어링하도록 또한 사용될 수 있다.

[0179] 이제 도 24를 참조하면, 밸브 누설 (밸브가 폐쇄될 때 발생하는 가스들의 플로우) 을 검출하기 위해 AFV를 사용하는 방법 (2510) 이 도시된다. 2514에서, MFS들과 연관된 밸브들이 폐쇄된다. 2518에서, AFV는 밸브들이 폐쇄되는 동안 질량 유량 레이트를 검출하도록 사용된다. 이 때, 가스는 MFS를 통해 공급되지 않아야 하고 질량 유량 레이트는 0과 같아야 한다. AFV가 0이 아닌 질량 유량 레이트를 검출하면, 밸브가 누설될 수도 있다. 2522에서, 질량 유량 레이트는 MFS를 사용하여 선택가능하게 검출된다. 2524에서,MFS 및 AFV에 의해 검출된 질량 유량 레이트들이 선택가능하게 비교된다. 2526에서, 밸브 누설 및/또는 다른 진단 판단들이 AFV 측정값, MFS 측정값 및/또는 두 측정값들 간 비교에 기초하여 이루어질 수 있다. 예를 들어, MFS 및 AFV가 모두 0의 질량 유량 레이트를 검출하면, MFS는 정확하게 동작 중이다. 예를 들어, MFS 및 AFV가 유사한 0이 아닌 질량 유량 레이트들을 검출하면 (즉, 미리 결정된 허용 오차 내), MFS는 정확하게 동작할 수도 있고 밸브들 중 하나는 누설될 수도 있다. 예를 들어, MFS 및 AFV가 상이한 0이 아닌 질량 유량 레이트들을 검출하면 (즉, 미리 결정된 허용 오차 밖), MFS는 부정확하게 동작할 수도 있고 그리고/또는 밸브들 중 하나는 누설될 수도 있다.

[0180] 전술한 기술은 본질적으로 단지 예시이고, 어떠한 방식으로도 본 개시, 이의 적용예, 또는 사용들을 제한하도록 의도되지 않는다. 본 개시의 광범위한 교시들은 다양한 형태들로 구현될 수 있다. 따라서, 본 개시가 특정한 예들을 포함하지만, 본 개시의 진정한 범위는 다른 수정들이 도면들, 명세서, 및 이하의 청구항들을 연구함으로써 자명해질 것이기 때문에 이렇게 제한되지 않아야 한다. 방법의 하나 이상의 단계들은 본 개시의 원리들을 변경하지 않고 상이한 순서로 (또는 동시에) 실행될 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 또한, 실시예들 각각은 특정한 특징들을 갖는 것으로 상기 기술되었지만, 본 개시의 임의의 실시예에 대해 기술된 이들 특징들 중 임의의 하나 이상의 특징들이 다른 실시예들의 임의의 실시예에서 구현될 수 있고 그리고/또는 이러한 조합이 명시적으로 기술되지 않지만, 다른 실시예들의 임의의 실시예의 특징들과 결합될 수 있다. 달리 말하면, 기술된 실시예들은 상호 배타적이지 않고, 하나 이상의 실시예들의 다른 실시예와의 치환들이 본 개시의 범위 내에 남는다.

[0181] 엘리먼트들 간 (예를 들어, 모듈들, 회로 엘리먼트들, 반도체 층들, 등 간) 의 공간적 및 기능적 관계들은, "연결된 (connected)", "인게이지된 (engaged)", "커플링된 (coupled)", "인접한 (adjacent)", "옆에 (next to)", "~의 상단에 (on top of)", "위에 (above)", "아래에 (below)", 및 "배치된 (disposed)"을 포함하는, 다양한 용어들을 사용하여 기술된다. "직접적 (direct)"인 것으로 명시적으로 기술되지 않는 한, 제 1 엘리먼트와 제 2 엘리먼트 간의 관계가 상기 개시에서 기술될 때, 이 관계는 제 1 엘리먼트와 제 2 엘리먼트 사이에 다른 중개하는 엘리먼트가 존재하지 않는 직접적인 관계일 수 있지만, 또한 제 1 엘리먼트와 제 2 엘리먼트 사이에 (공간적으로 또는 기능적으로) 하나 이상의 중개하는 엘리먼트들이 존재하는 간접적인 관계일 수 있다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 구 A, B, 및 C 중 적어도 하나는 비배타적인 논리 OR를 사용하여, 논리적으로 (A 또는 B 또는 C) 를 의미하는 것으로 해석되어야 하고, "적어도 하나의 A, 적어도 하나의 B, 및 적어도 하나의 C"를 의미하도록 해석되지 않아야 한다.

[0182] 일부 구현예들에서, 제어기는 상술한 예들의 일부일 수도 있는 시스템의 일부이다. 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 하위부분들을 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 인터페이싱된 로드록들 내외로의 웨이퍼 이송들을 포함하는, 본 명세서에 개시된 프로세스들 중 임의의 프로세스들을 제어하도록 프로그램될 수도 있다.

[0183] 일반적으로 말하면, 제어기는 인스트럭션들을 수신하고, 인스트럭션들을 발행하고, 동작을 제어하고, 세정 동작들을 인에이블하고, 엔드 포인트 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 프로세스 엔지니어들에 의해서 규정된 레시피의 일부일 수도 있다.

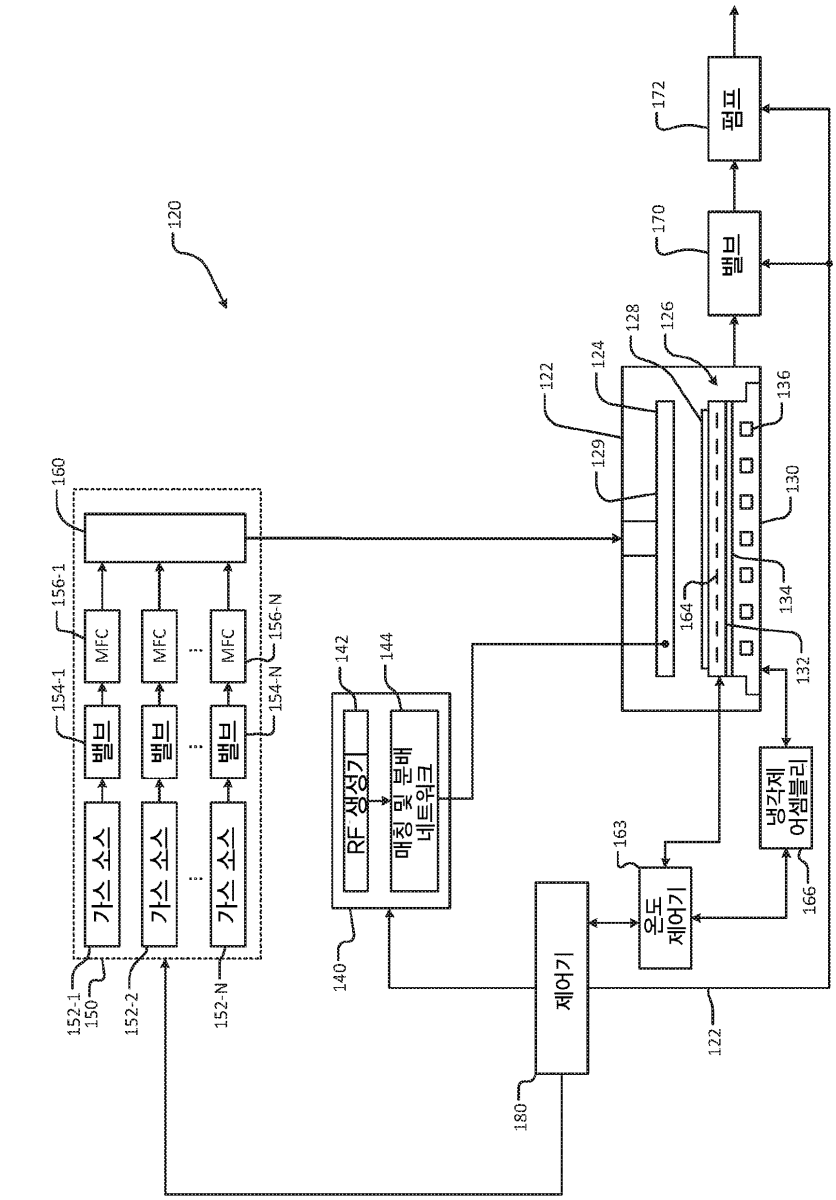
[0184] 제어기는, 일부 구현예들에서, 시스템에 통합되거나, 시스템에 커플링되거나, 이와 달리 시스템에 네트워킹되거나, 또는 이들의 조합으로 될 수 있는 컴퓨터에 커플링되거나 이의 일부일 수도 있다. 예를 들어, 제어기는 웨이퍼 프로세싱의 원격 액세스를 가능하게 할 수 있는 공장 (fab) 호스트 컴퓨터 시스템의 전부 또는 일부이거나 "클라우드" 내에 있을 수도 있다. 컴퓨터는 제조 동작들의 현 진행을 모니터링하고, 과거 제조 동작들의 이력을 조사하고, 복수의 제조 동작들로부터 경향들 또는 성능 계측치들을 조사하고, 현 프로세싱의 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 인터페이싱하도록 구성된 툴의 타입 및 수행될 프로세스의 타입에 특정적일 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 따라서, 상술한 바와 같이, 제어기는 예를 들어 서로 네트워킹되어서 함께 공통 목적을 위해서, 예를 들어 본 명세서에 기술된 프로세스들 및 제어들을 위해서 협력하는 하나 이상의 개별 제어기들을 포함함으로써 분산될 수도 있다. 이러한 목적들을 위한 분산형 제어기의 예는 프로세싱 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.

[0185] 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.

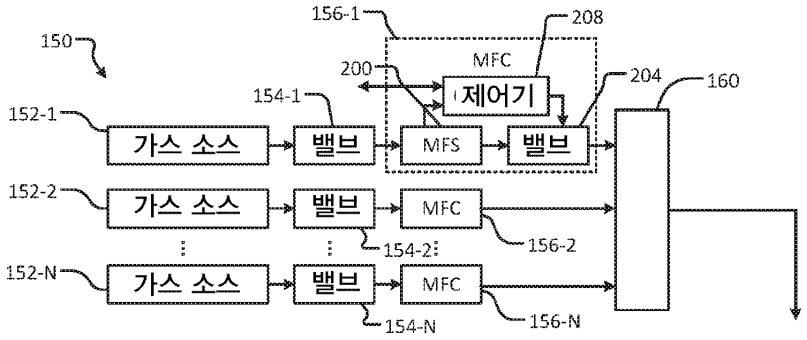
[0186] 상술한 바와 같이, 툴에 의해서 수행될 프로세스 단계 또는 단계들에 따라서, 제어기는, 반도체 제작 공장 내의 툴 위치들 및/또는 로드 포트들로부터/로드 포트들로 웨이퍼들의 컨테이너들을 이동시키는 재료 이송 시에 사용되는, 다른 툴 회로들 또는 모듈들, 다른 툴 컴포넌트들, 클러스터 툴들, 다른 툴 인터페이스들, 인접 툴들, 이웃하는 툴들, 공장 도처에 위치한 툴들, 메인 컴퓨터, 또 다른 제어기 또는 툴들 중 하나 이상과 통신할 수도 있다.

도면

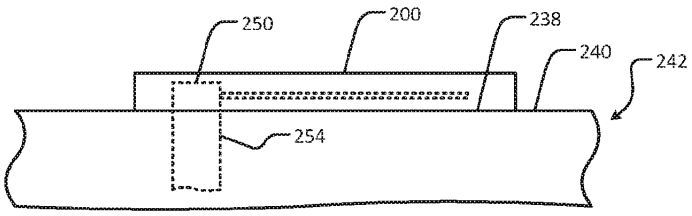
도면1


120
펌프
172
버블
170
128
126
124
122
136
129
130
134
164
132
160
156-1
156-N
154-1
154-N
MFC
MFC
MFC
밸브
밸브
밸브
가스 소스
가스 소스
가스 소스
152-1
150
152-2
152-N
142
144
RF 생성기
매칭 및 분배 네트워크
140
163
온도 제어기
냉각제 어셈블리
166
제어기
180
122

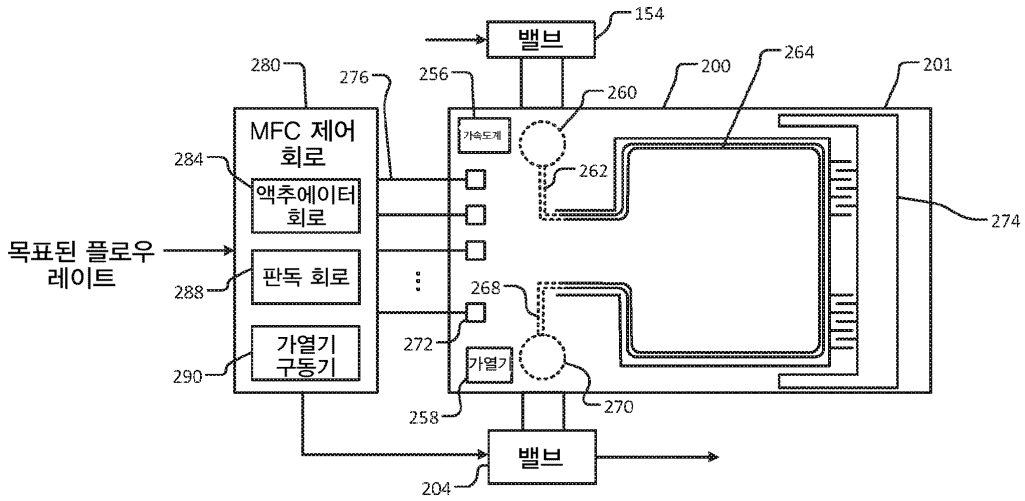
도면2a


150
156-1
208
MFC
200
제어기
204
160
154-1
152-1
가스 소스
밸브
MFS
밸브
152-2
가스 소스
밸브
MFC
154-2
156-2
152-N
가스 소스
밸브
MFC
154-N
156-N

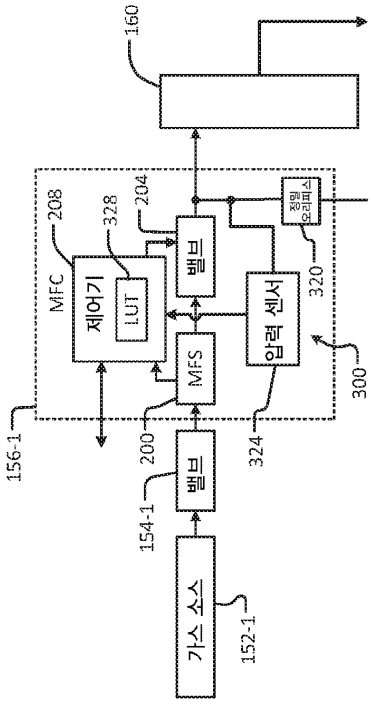
도면2b



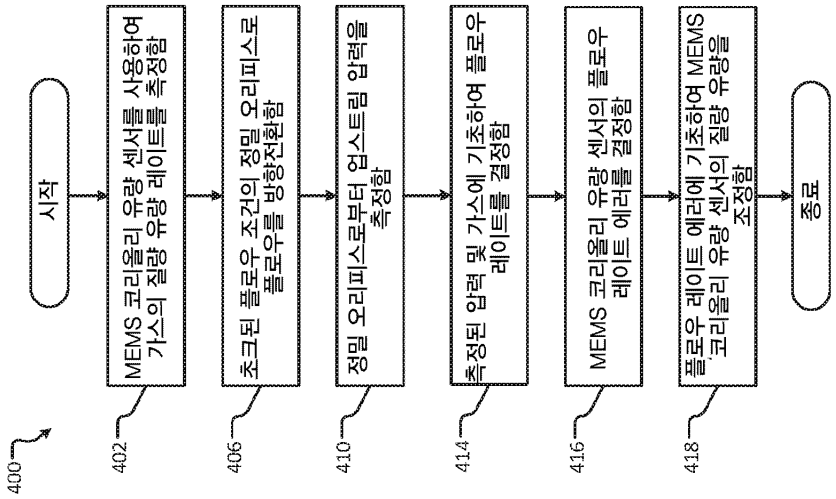
도면2c



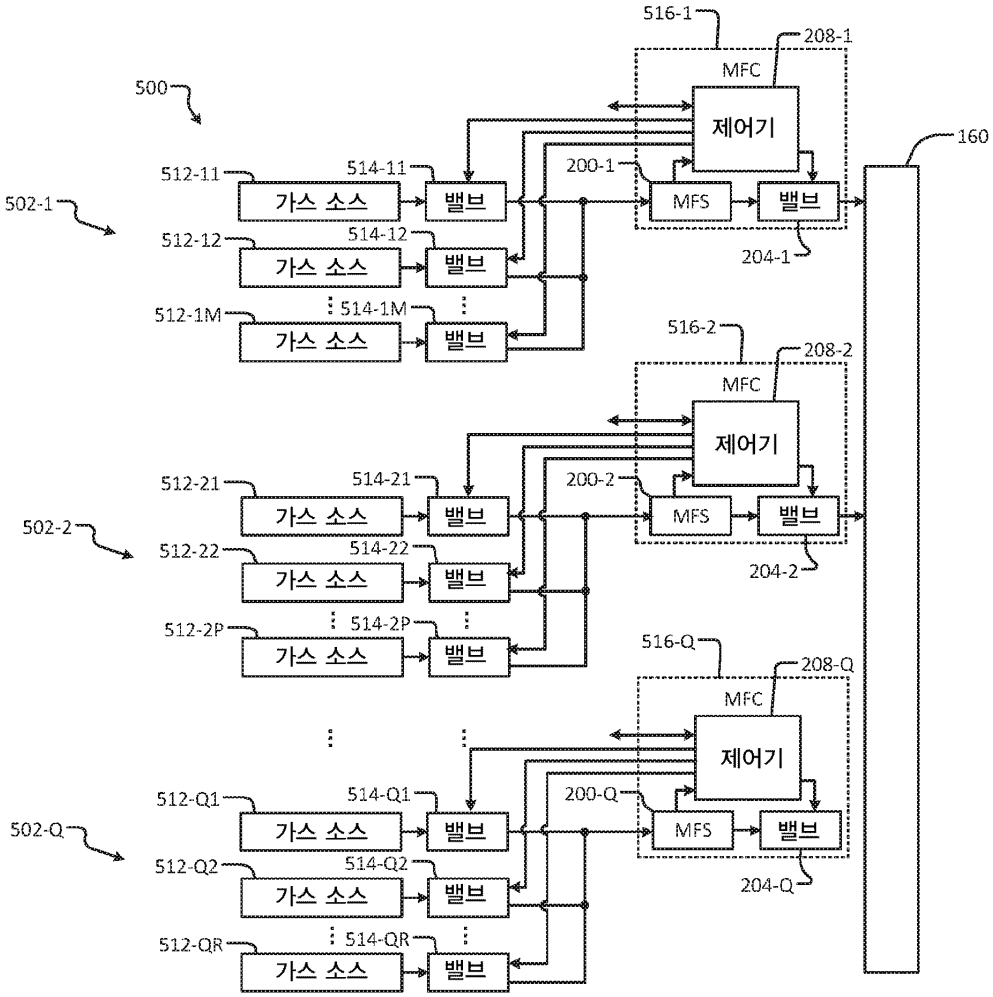
도면3



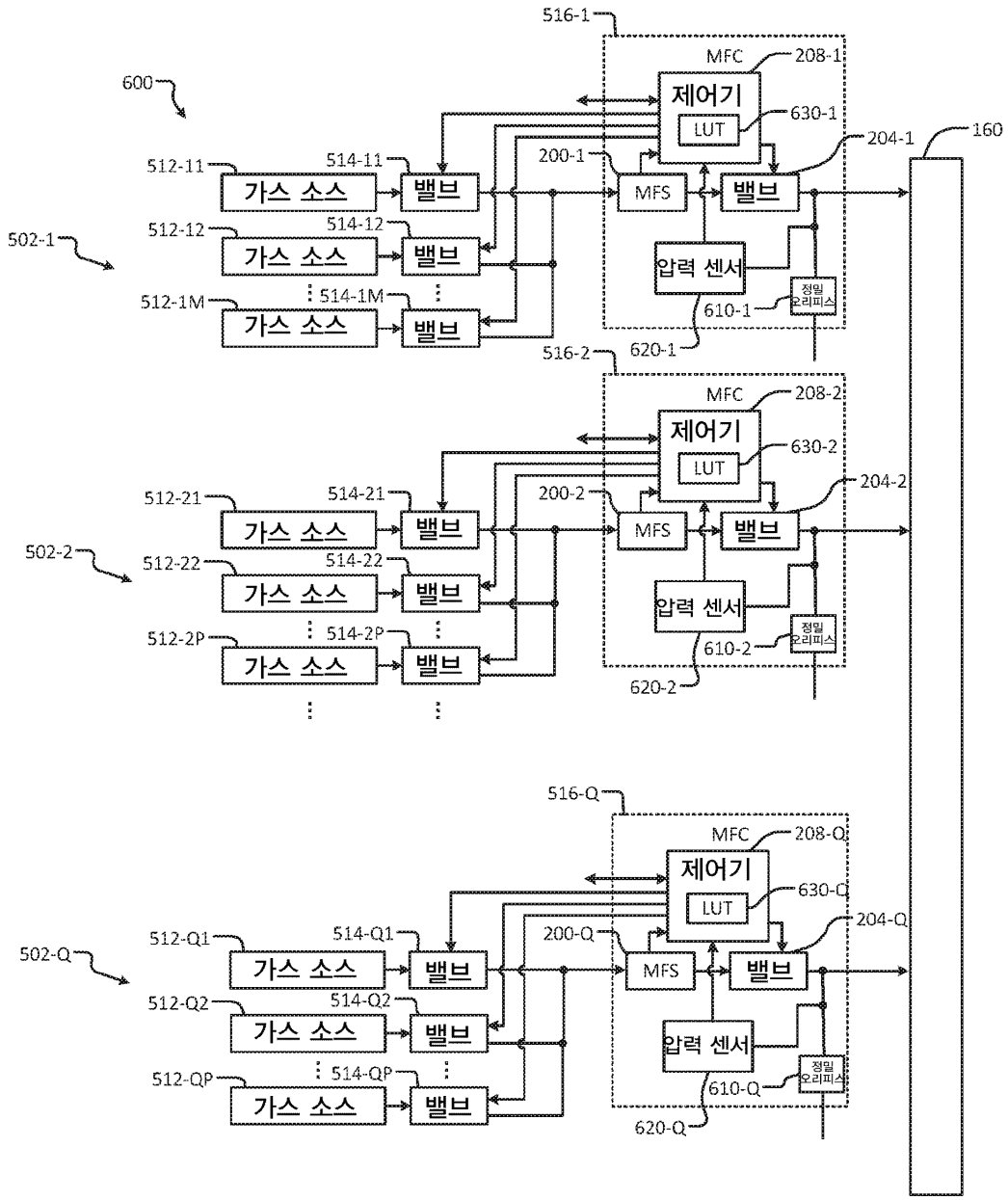
도면4


시작
MEMS 코리올리 유량 센서를 사용하여 가스의 질량 유량 레이트를 측정함
초크된 플로우 조건의 정밀 오리피스로 플로우를 방향전환함
정밀 오리피스로부터 업스트림 압력을 측정함
측정된 압력 및 가스에 기초하여 플로우 레이트를 결정함
MEMS 코리올리 유량 센서의 플로우 레이트 에러를 결정함
플로우 레이트 에러에 기초하여 MEMS 코리올리 유량 센서의 질량 유량을 조정함
종료
400
402
406
410
414
416
418

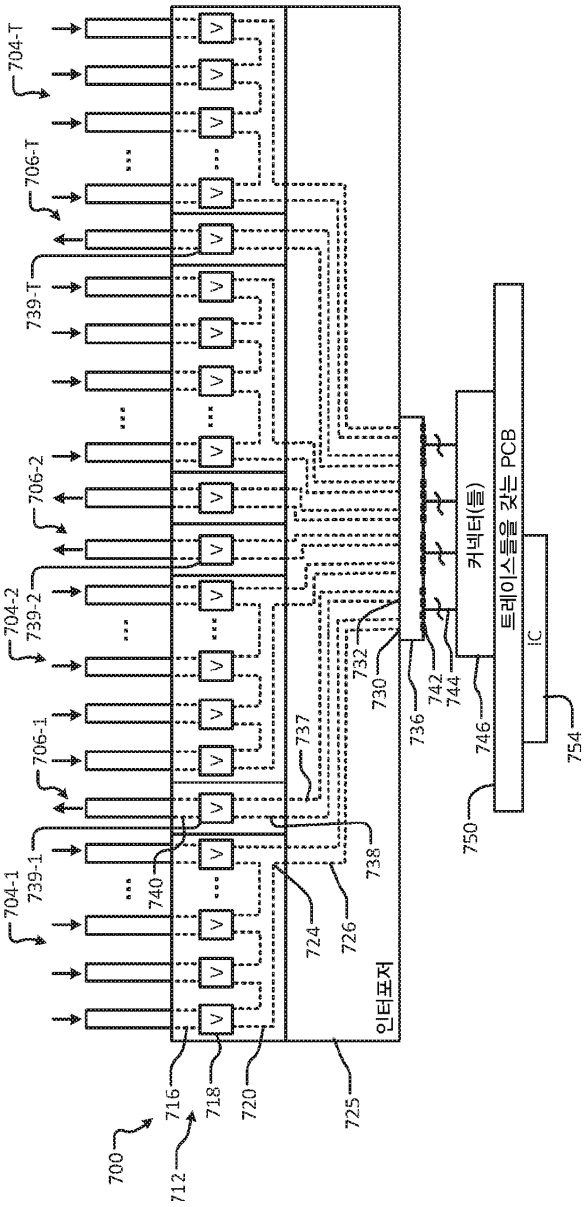
도면5


500
502-1
502-2
502-Q
512-11
512-12
512-1M
512-21
512-22
512-2P
512-Q1
512-Q2
512-QR
514-11
514-12
514-1M
514-21
514-22
514-2P
514-Q1
514-Q2
514-QR
가스 소스
밸브
516-1
516-2
516-Q
208-1
208-2
208-Q
MFC
제어기
200-1
200-2
200-Q
MFS
204-1
204-2
204-Q
160

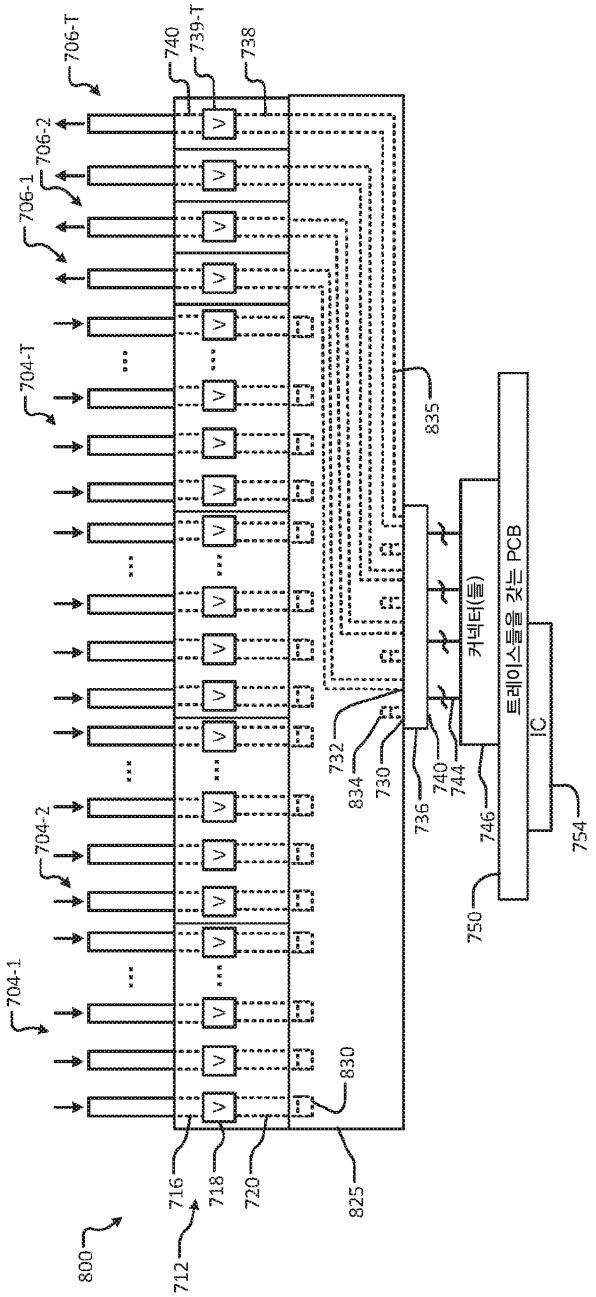
도면6


600
516-1
MFC
208-1
제어기
LUT
630-1
204-1
160
200-1
MFS
밸브
512-11
514-11
가스 소스
밸브
512-12
514-12
가스 소스
밸브
502-1
512-1M
514-1M
가스 소스
밸브
압력 센서
정밀 오리피스
610-1
620-1
516-2
MFC
208-2
제어기
LUT
630-2
204-2
200-2
MFS
밸브
512-21
514-21
가스 소스
밸브
502-2
512-22
514-22
가스 소스
밸브
512-2P
514-2P
가스 소스
밸브
압력 센서
정밀 오리피스
610-2
620-2
516-Q
MFC
208-Q
제어기
LUT
630-Q
204-Q
200-Q
MFS
밸브
512-Q1
514-Q1
가스 소스
밸브
502-Q
512-Q2
514-Q2
가스 소스
밸브
512-QP
514-QP
가스 소스
밸브
압력 센서
정밀 오리피스
610-Q
620-Q

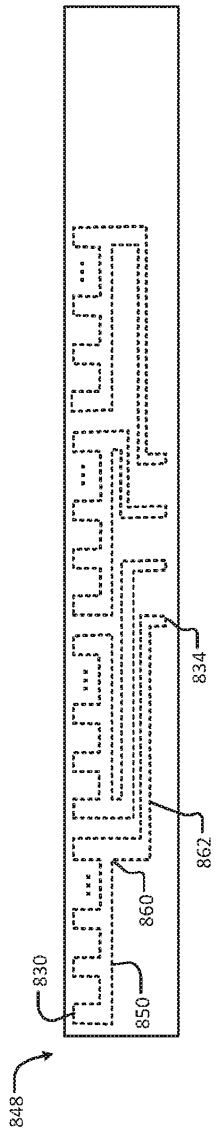
도면7


700
712
716
718
720
725
인터포저
724
726
738
740
737
704-1
739-1
706-1
704-2
739-2
706-2
704-T
739-T
706-T
732
730
736
742
744
746
750
754
커넥터(들)
트레이스들을 갖는 PCB
IC

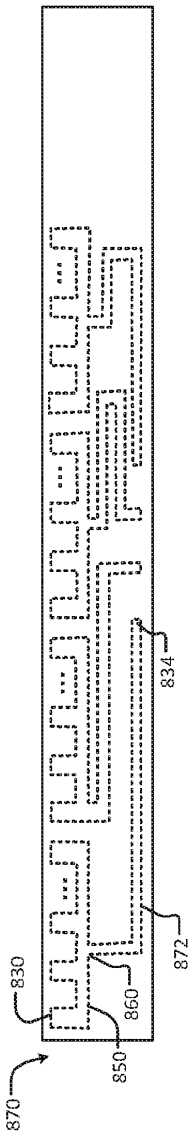
도면8a


706-T
740
739-T
738
706-2
706-1
704-T
835
704-2
704-1
830
716
718
720
825
800
712
732
834
730
736
740
744
746
750
754
커넥터(들)
트레이스들을 갖는 PCB
IC

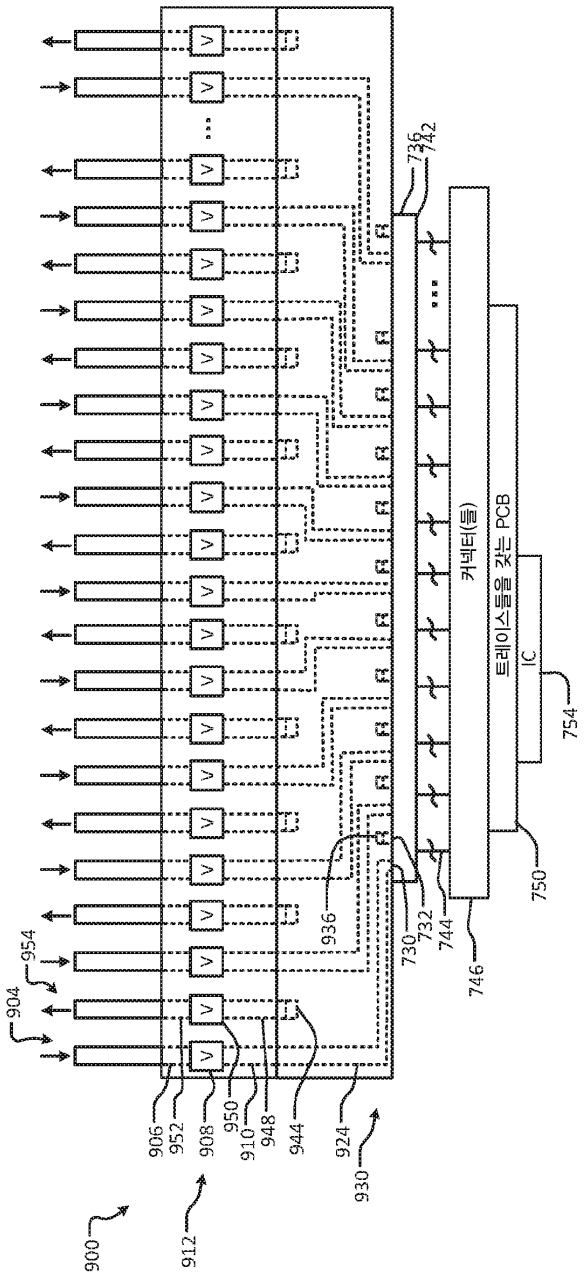
도면8b



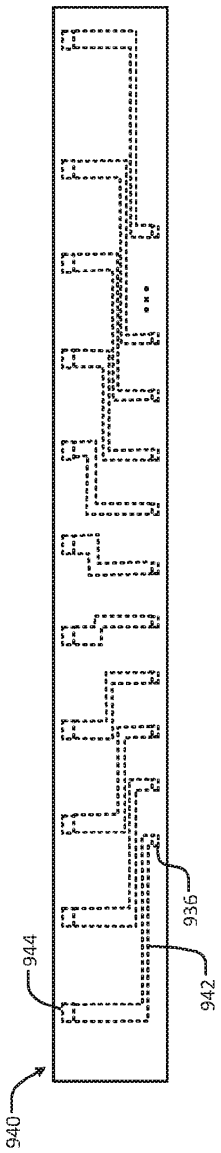
도면8c



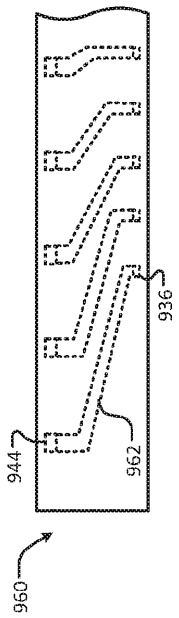
도면9a


900
912
906
952
908
950
910
948
944
924
930
904
954
936
730
732
744
746
750
754
IC
트레이스들을 갖는 PCB
커넥터(들)
736
742

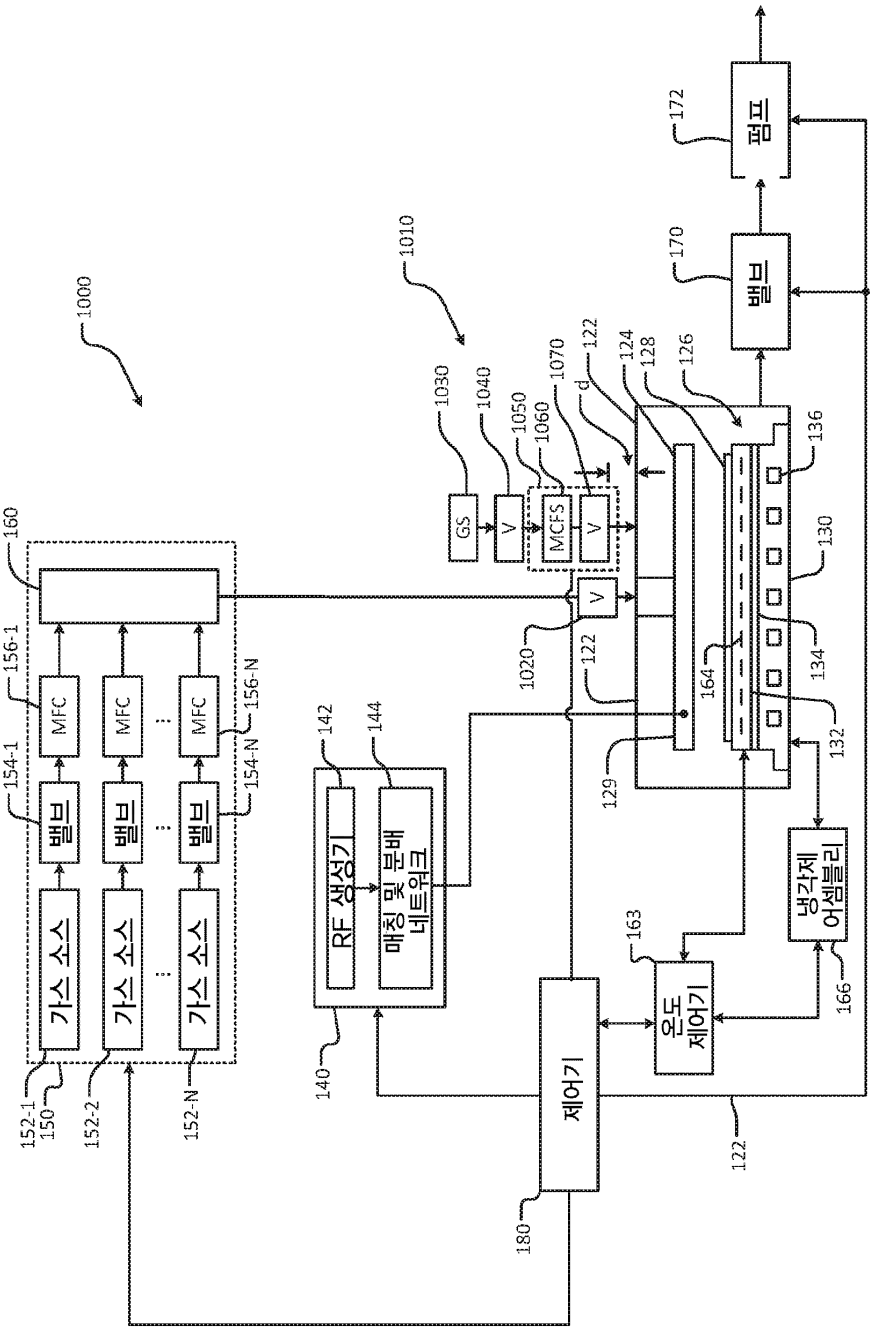
도면9b



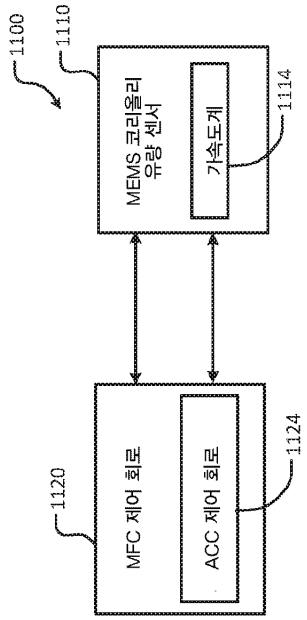
도면9c



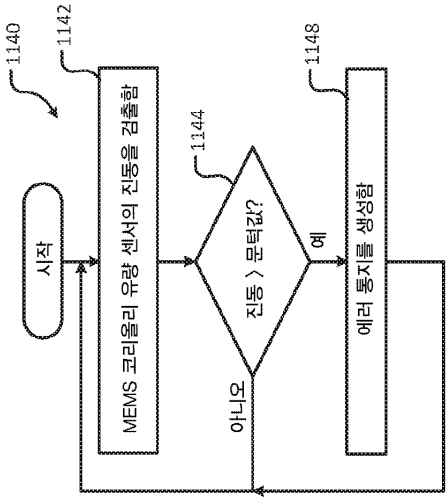
도면10


1000
1010
160
156-1
156-N
154-1
154-N
MFC
밸브
가스 소스
152-1
150
152-2
152-N
1020
1030
1040
1050
1060
1070
122
124
128
126
GS
V
MCFS
V
V
136
130
134
132
164
129
122
142
144
RF 생성기
매칭 및 분배 네트워크
140
제어기
180
163
온도 제어기
냉각제 어셈블리
166
122
170
밸브
172
펌프

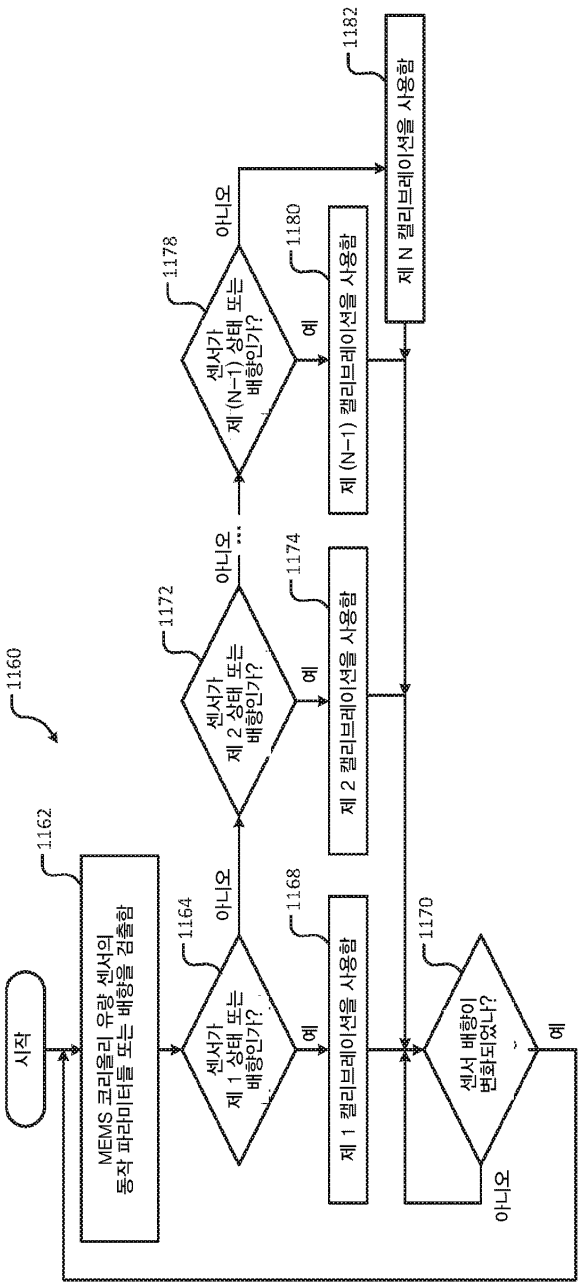
도면11a


1100
1110
MEMS 코리올리
유량 센서
가속도계
1114
1120
MFC 제어 회로
ACC 제어 회로
1124

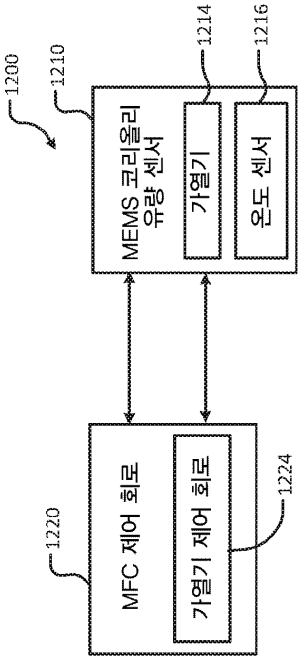
도면11b


1140
1142
시작
MEMS 코리올리 유량 센서의 진동을 검출함
1144
진동 > 문턱값?
예
아니오
1148
에러 통지를 생성함

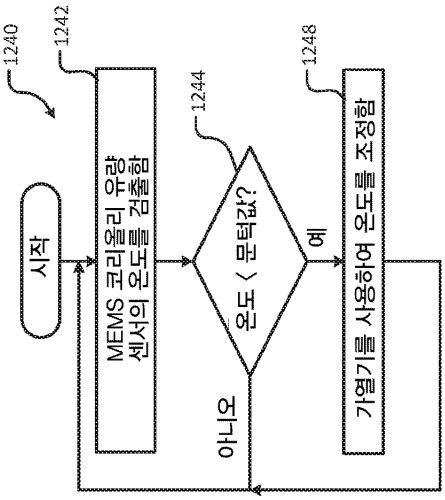
도면11c


1160
시작
1162
MEMS 코리올리 유량 센서의
동작 파라미터들 또는 배향을 검출함
1164
센서가
제 1 상태 또는
배향인가?
예
1168
제 1 캘리브레이션을 사용함
아니오
1172
센서가
제 2 상태 또는
배향인가?
예
1174
제 2 캘리브레이션을 사용함
아니오
...
1178
센서가
제 (N-1) 상태 또는
배향인가?
예
1180
제 (N-1) 캘리브레이션을 사용함
아니오
1182
제 N 캘리브레이션을 사용함
1170
센서 배향이
변화되었나?
예
아니오

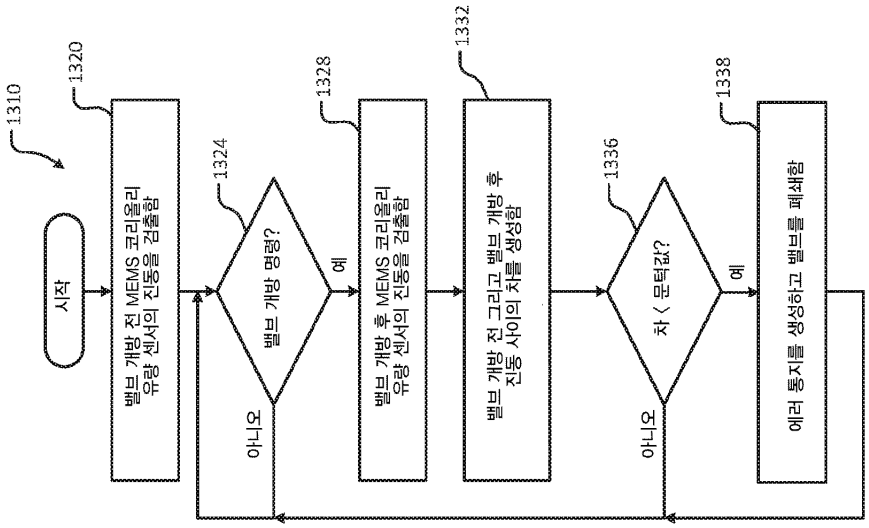
도면12a


1200
1210
MEMS 코리올리 유량 센서
1214
가열기
1216
온도 센서
1220
MFC 제어 회로
가열기 제어 회로
1224

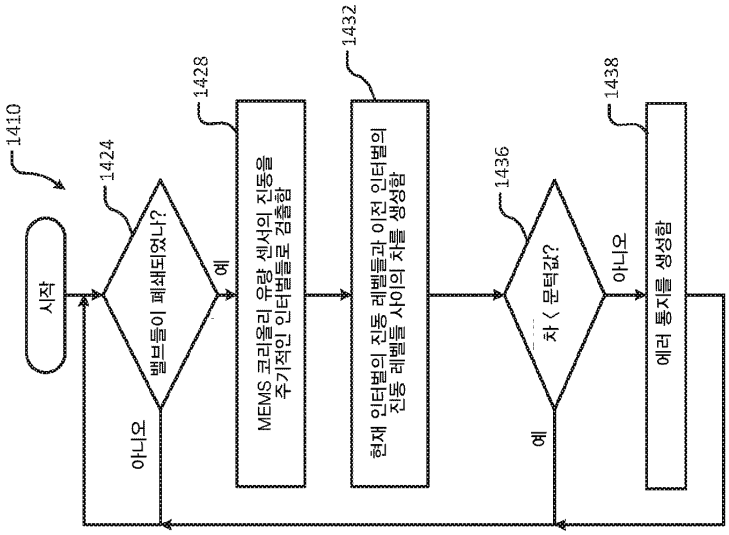
도면12b


1240
시작
1242
MEMS 코리올리 유량 센서의 온도를 검출함
1244
온도 < 문턱값?
예
아니오
1248
가열기를 사용하여 온도를 조정함

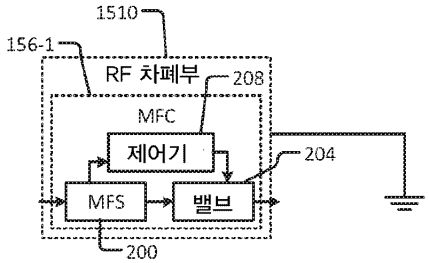
도면13



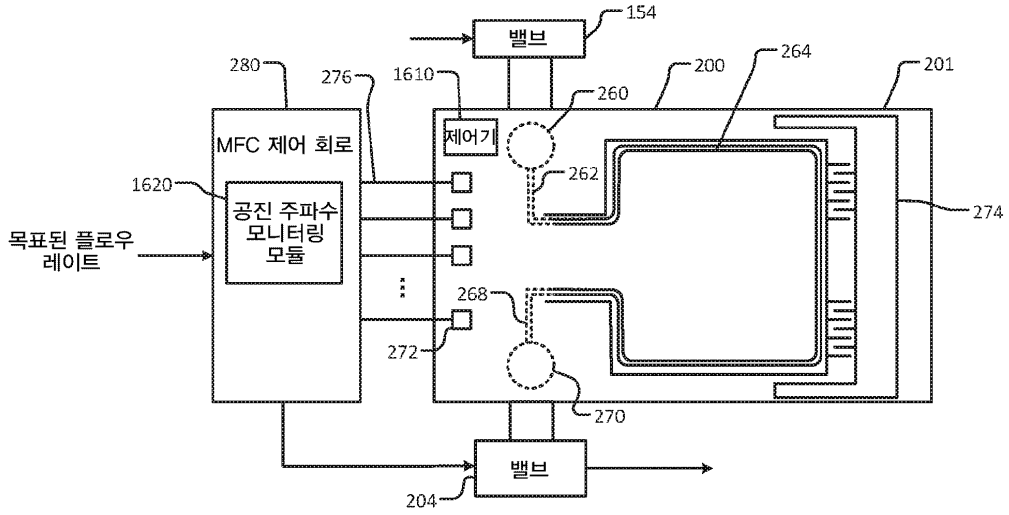
도면14



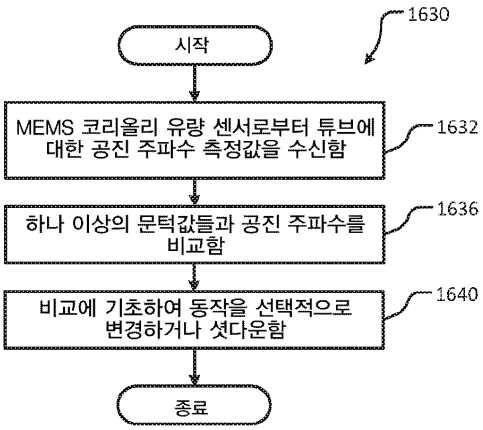
도면15



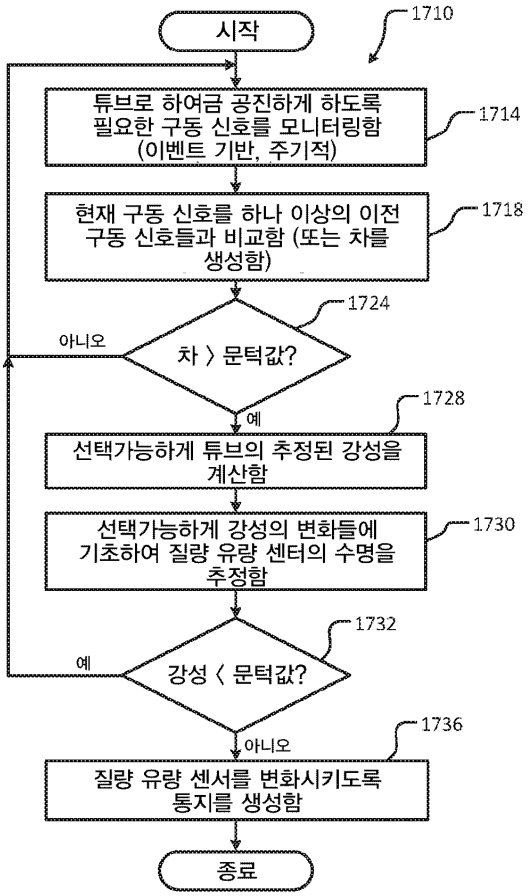
도면16a


밸브
154
280
276
1610
260
200
264
201
MFC 제어 회로
제어기
262
1620
공진 주파수 모니터링 모듈
274
목표된 플로우 레이트
268
272
270
밸브
204

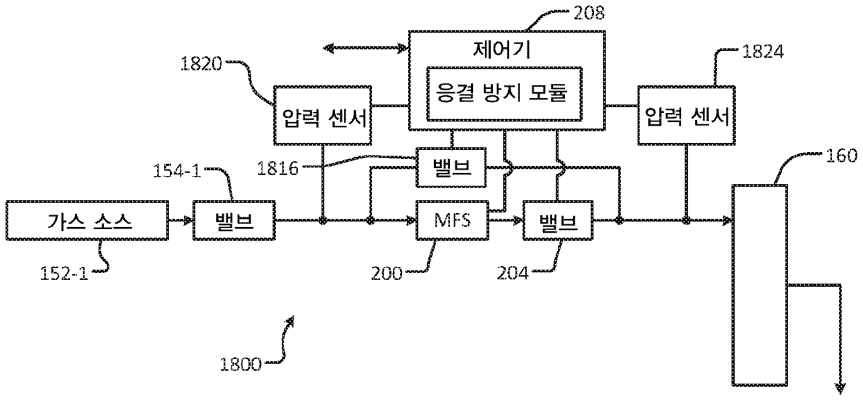
도면16b


1630
시작
MEMS 코리올리 유량 센서로부터 튜브에 대한 공진 주파수 측정값을 수신함
1632
하나 이상의 문턱값들과 공진 주파수를 비교함
1636
비교에 기초하여 동작을 선택적으로 변경하거나 셧다운함
1640
종료

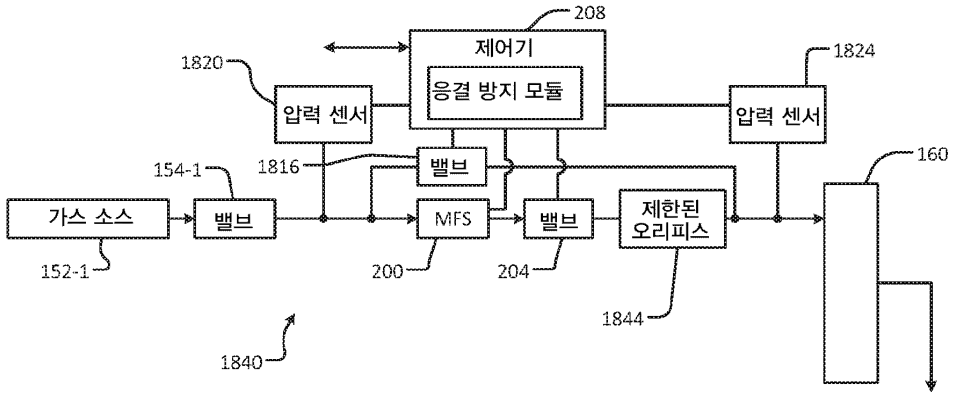
도면17


시작
1710
튜브로 하여금 공진하게 하도록 필요한 구동 신호를 모니터링함 (이벤트 기반, 주기적)
1714
현재 구동 신호를 하나 이상의 이전 구동 신호들과 비교함 (또는 차를 생성함)
1718
1724
차 〉 문턱값?
아니오
예
1728
선택가능하게 튜브의 추정된 강성을 계산함
선택가능하게 강성의 변화들에 기초하여 질량 유량 센터의 수명을 추정함
1730
1732
강성 〈 문턱값?
예
아니오
1736
질량 유량 센서를 변화시키도록 통지를 생성함
종료

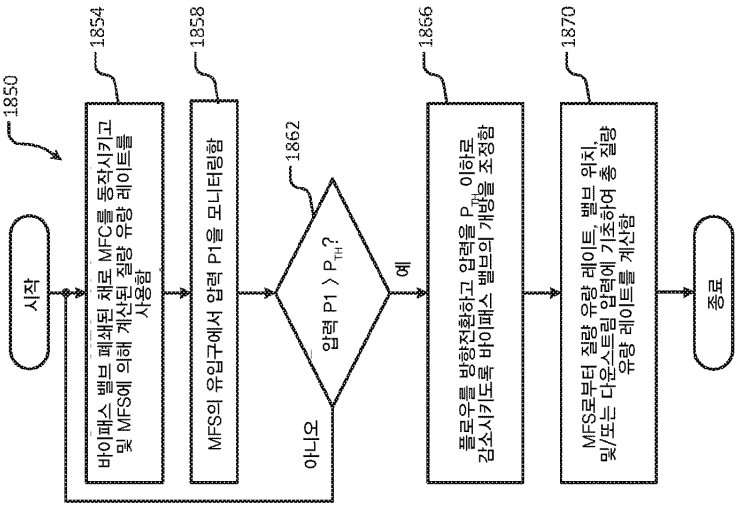
도면18a


208
제어기
응결 방지 모듈
1820
압력 센서
1824
압력 센서
밸브
1816
154-1
160
가스 소스
밸브
MFS
밸브
152-1
200
204
1800

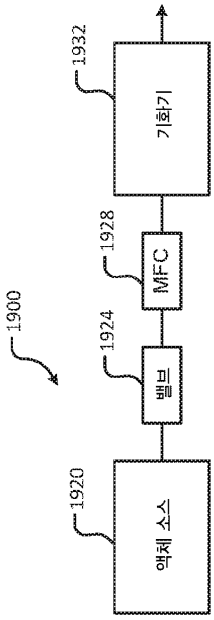
도면18b


208
제어기
응결 방지 모듈
1820
압력 센서
1824
압력 센서
154-1
1816
밸브
160
가스 소스
밸브
MFS
밸브
제한된 오리피스
152-1
200
204
1844
1840

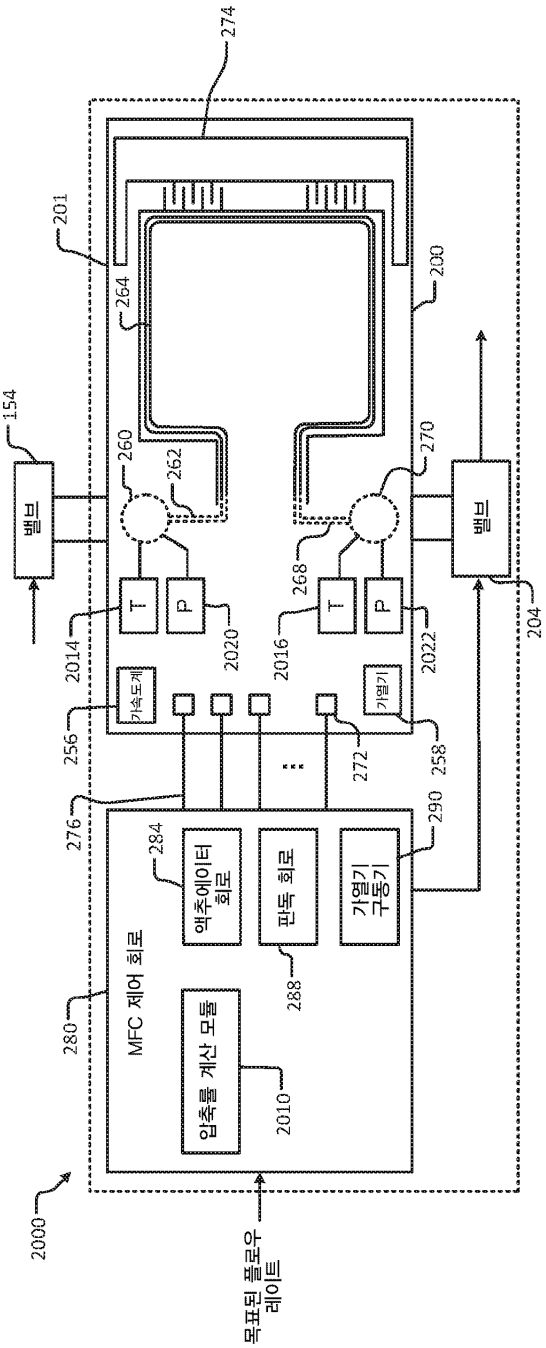
도면18c


1850
시작
1854
바이패스 밸브 폐쇄된 채로 MFC를 동작시키고 및 MFS에 의해 계산된 질량 유량 레이트를 사용함
1858
MFS의 유입구에서 압력 P1을 모니터링함
1862
압력 P1 > P_TH?
예
아니오
1866
플로우를 방향전환하고 압력을 P_TH 이하로 감소시키도록 바이패스 밸브의 개방을 조정함
1870
MFS로부터 질량 유량 레이트, 밸브 위치, 및/또는 다운스트림 압력에 기초하여 총 질량 유량 레이트를 계산함
종료

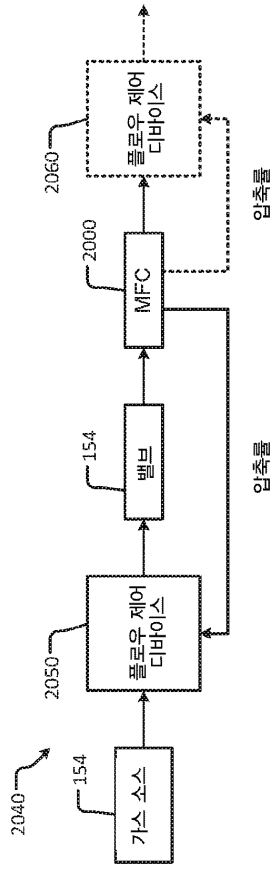
도면19



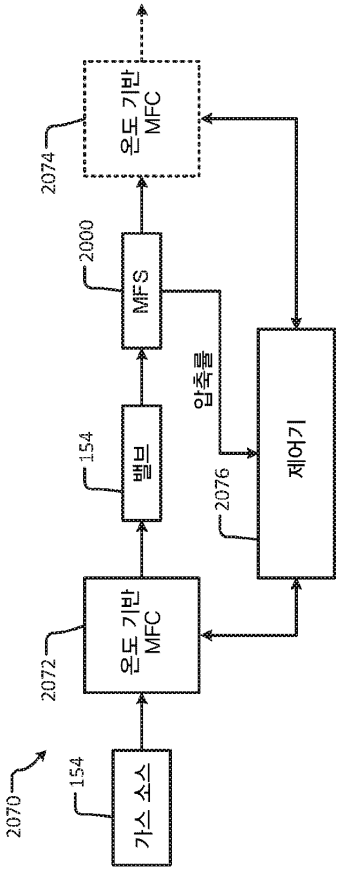
도면20a


274
201
264
200
154
260
262
270
밸브
밸브
T
P
T
P
268
2014
2020
2016
2022
204
가속도계
가열기
256
272
258
276
290
284
MFC 제어 회로
액추에이터 회로
판독 회로
가열기 구동기
280
288
압축률 계산 모듈
2010
2000
목표된 플로우 레이트

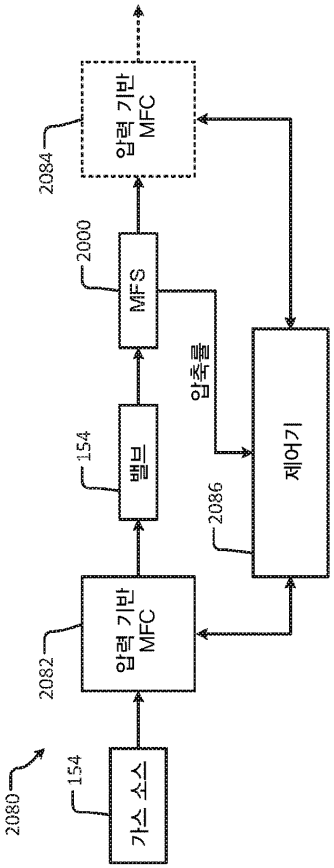
도면20b


2040
154
가스 소스
2050
플로우 제어 디바이스
154
밸브
2000
MFC
2060
플로우 제어 디바이스
압축률
압축률

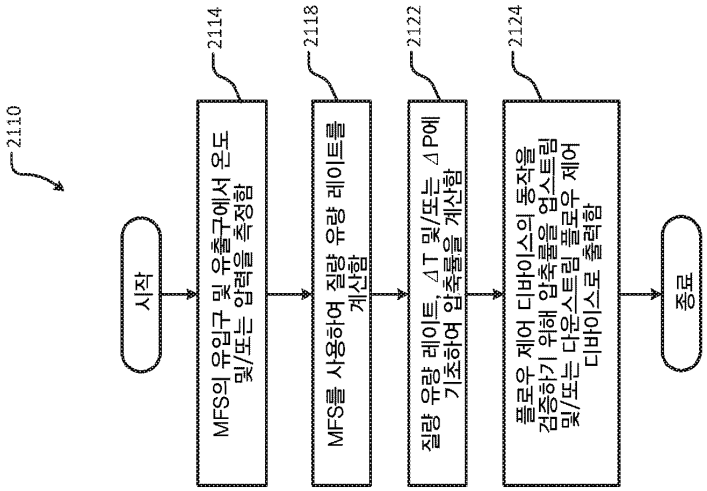
도면20c


2070
154
가스 소스
2072
온도 기반 MFC
154
밸브
2000
MFS
2074
온도 기반 MFC
압축률
2076
제어기

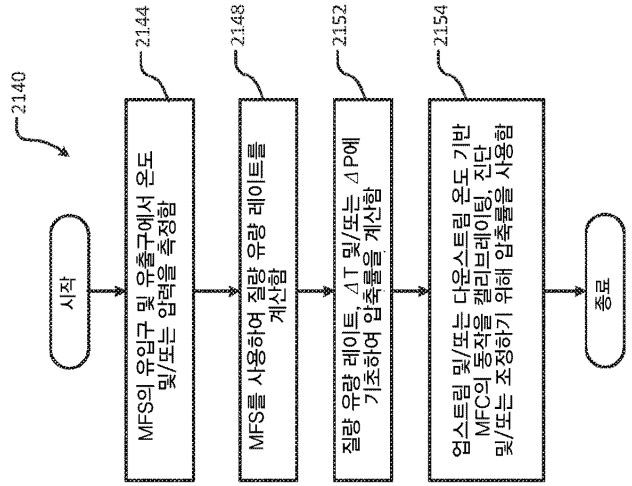
도면20d


2080
154
가스 소스
2082
압력 기반 MFC
154
밸브
2000
MFS
2084
압력 기반 MFC
압축률
2086
제어기

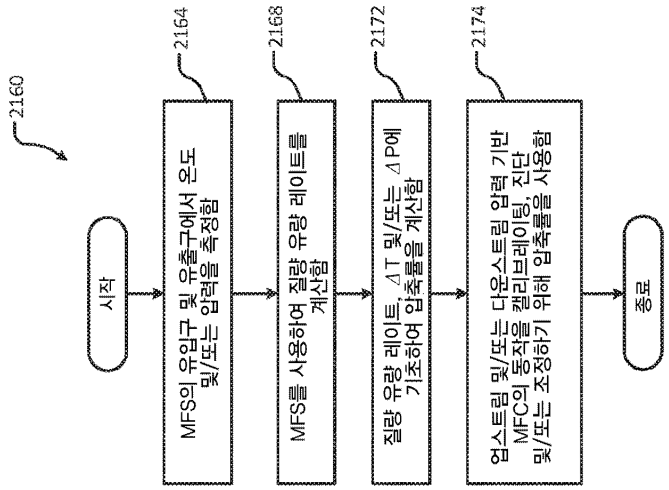
도면21a


2110
시작
2114
MFS의 유입구 및 유출구에서 온도 및/또는 압력을 측정함
2118
MFS를 사용하여 질량 유량 레이트를 계산함
2122
질량 유량 레이트, ΔT 및/또는 ΔP에 기초하여 압축률을 계산함
2124
플로우 제어 디바이스의 동작을 검증하기 위해 압축률을 업스트림 및/또는 다운스트림 플로우 제어 디바이스로 출력함
종료

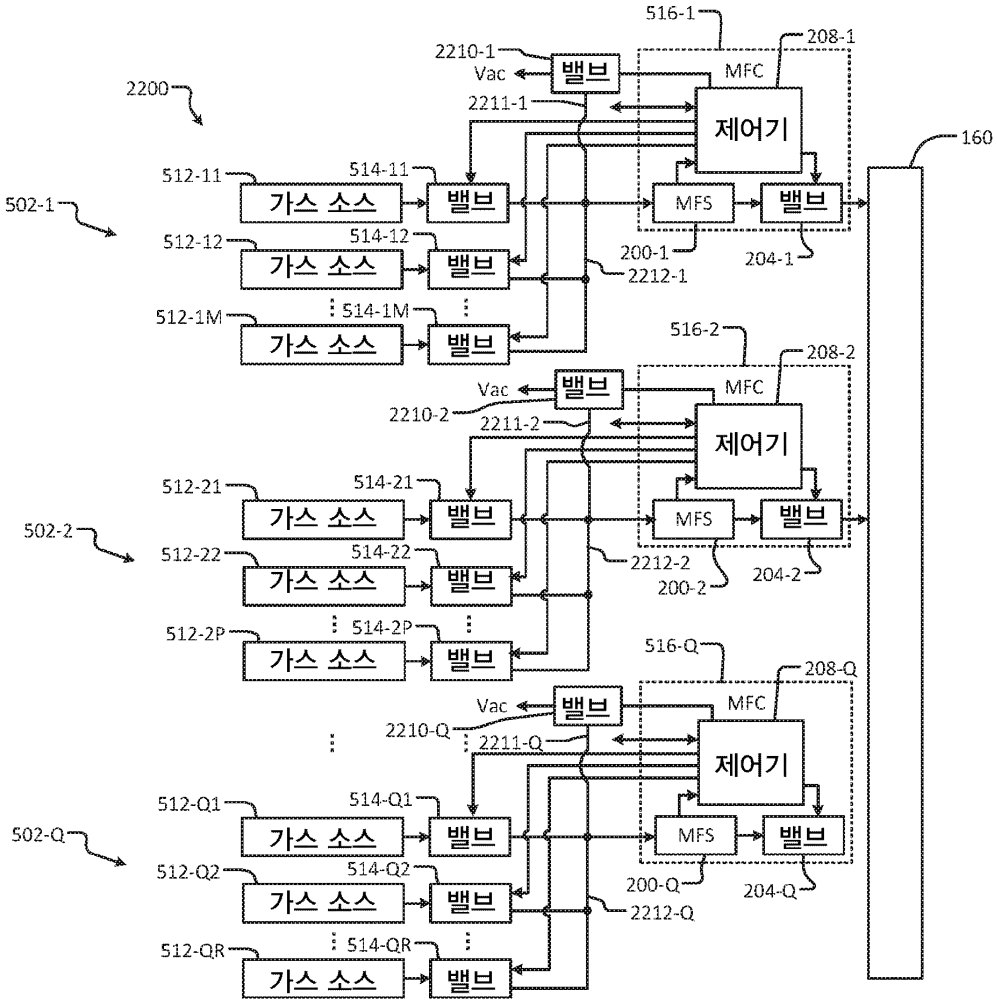
도면21b


2140
시작
2144
MFS의 유입구 및 유출구에서 온도 및/또는 압력을 측정함
2148
MFS를 사용하여 질량 유량 레이트를 계산함
2152
질량 유량 레이트, ΔT 및/또는 ΔP에 기초하여 압축률을 계산함
2154
업스트림 및/또는 다운스트림 온도 기반 MFC의 동작을 캘리브레이팅, 진단 및/또는 조정하기 위해 압축률을 사용함
종료

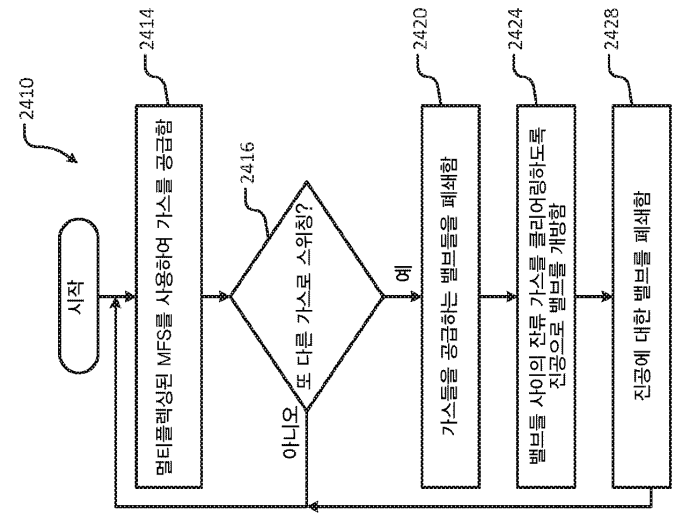
도면21c


2160
시작
2164
MFS의 유입구 및 유출구에서 온도 및/또는 압력을 측정함
2168
MFS를 사용하여 질량 유량 레이트를 계산함
2172
질량 유량 레이트, ΔT 및/또는 ΔP에 기초하여 압축률을 계산함
2174
업스트림 및/또는 다운스트림 압력 기반 MFC의 동작을 캘리브레이팅, 진단 및/또는 조정하기 위해 압축률을 사용함
종료

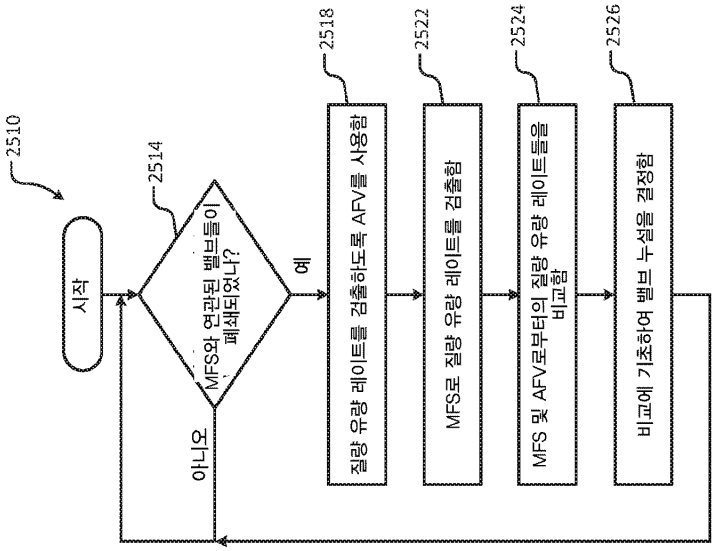
도면22


2200
502-1
502-2
502-Q
512-11
512-12
512-1M
512-21
512-22
512-2P
512-Q1
512-Q2
512-QR
514-11
514-12
514-1M
514-21
514-22
514-2P
514-Q1
514-Q2
514-QR
가스 소스
밸브
2210-1
2210-2
2210-Q
Vac
2211-1
2211-2
2211-Q
2212-1
2212-2
2212-Q
516-1
516-2
516-Q
208-1
208-2
208-Q
MFC
제어기
MFS
200-1
200-2
200-Q
204-1
204-2
204-Q
160

도면23


2410
시작
2414
멀티플렉싱된 MFS를 사용하여 가스를 공급함
2416
또 다른 가스로 스위칭?
예
아니오
2420
가스들을 공급하는 밸브들을 폐쇄함
2424
밸브들 사이의 잔류 가스를 클리어링하도록 진공으로 밸브를 개방함
2428
진공에 대한 밸브를 폐쇄함

도면24


2510
시작
2514
MFS와 연관된 밸브들이 폐쇄되었나?
예
아니오
2518
질량 유량 레이트를 검출하도록 AFV를 사용함
2522
MFS로 질량 유량 레이트를 검출함
2524
MFS 및 AFV로부터의 질량 유량 레이트들을 비교함
2526
비교에 기초하여 밸브 누설을 결정함