



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월10일
(11) 등록번호 10-1817162
(24) 등록일자 2018년01월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C23C 16/455 (2006.01) C23C 16/448 (2006.01)
C23C 16/52 (2006.01) G05D 7/06 (2006.01)
 - (52) CPC특허분류
C23C 16/45523 (2013.01)
C23C 16/448 (2013.01)
 - (21) 출원번호 10-2016-7018534(분할)
 - (22) 출원일자(국제) 2012년02월24일
심사청구일자 2016년12월13일
 - (85) 번역문제출일자 2016년07월08일
 - (65) 공개번호 10-2016-0088435
 - (43) 공개일자 2016년07월25일
 - (62) 원출원 특허 10-2013-7024954
원출원일자(국제) 2012년02월24일
심사청구일자 2013년09월23일
 - (86) 국제출원번호 PCT/US2012/026519
 - (87) 국제공개번호 WO 2012/116281
국제공개일자 2012년08월30일
 - (30) 우선권주장
13/035,534 2011년02월25일 미국(US)
(뒷면에 계속)
 - (56) 선행기술조사문헌
KR1020090104678 A*
(뒷면에 계속)
- 전체 청구항 수 : 총 18 항

- (73) 특허권자
엠케이에스 인스트루먼트, 인코포레이티드
미합중국 매사추세츠주 01810, 앤도버, 스위트
201, 테크 드라이브 2
- (72) 발명자
딩, 준후아
미국, 매사추세츠 01876, 튜크스베리, 오차드 스트리트 41
엘'바씨, 마이클 엘.
미국, 매사추세츠 01564, 스틸링, 쉐들 힐 로드 113
리, 쑹-칭
미국, 매사추세츠 02420, 렉싱턴, 페럴론 레인 24
- (74) 대리인
특허법인씨엔에스

심사관 : 조상진

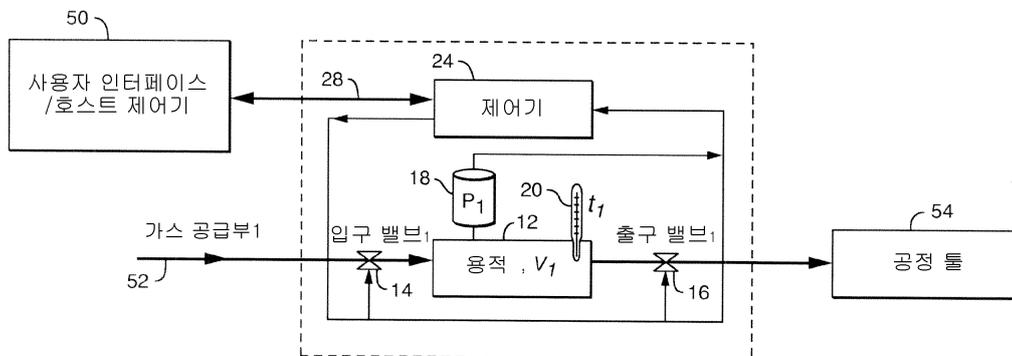
(54) 발명의 명칭 고속 펄스 가스 이송 시스템 및 방법

(57) 요약

통에 원하는 질량의 가스의 펄스를 이송하기 위한 시스템은, 유량 센서와, 제어 밸브와, 상기 제어 밸브를 개폐하기 위한 일련의 단계의 레시피(recipe)의 함수로서 가스 펄스의 시퀀스로 이송하기 위하여 상기 레시피를 수신하도록 구성되고 배치되는 전용 제어기를 포함하는 질량 유량 제어기를 포함한다. 질량 유량 제어기는 통상적인

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



질량 유량 제어기(MFC) 모드 또는 펄스 가스 이송(PGD) 모드와 같은 적어도 두 개의 모드 중 어느 하나로 동작하도록 구성되고 배치된다. 또한, 전용 제어기는 시간 기반 펄스 이송 공정, 몰 기반 펄스 이송 공정 및 프로파일 기반 펄스 이송 공정인 3개의 상이한 타입의 펄스 가스 이송 공정에 따라 가스의 펄스를 이송하기 위하여 구성되고 배치된다.

(52) CPC특허분류

C23C 16/45561 (2013.01)

C23C 16/52 (2013.01)

G05D 7/0635 (2013.01)

G05D 7/0647 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

US20100125424 A1*

US20100125424 A1*

KR1020090104678 A*

KR1020070012465 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(30) 우선권주장

61/525,452 2011년08월19일 미국(US)

13/344,387 2012년01월05일 미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

틀에 원하는 질량의 가스의 펄스를 이송하고, 질량 유량의 레시피(recipe)의 모든 시퀀싱 단계를 수행하도록 동작하는 펄스 가스 이송 시스템에 있어서,

유량 센서와, 제어 밸브와, 전용 제어기를 포함하는 질량 유량 제어기를 포함하고,

상기 전용 제어기는, 반도체 제조 공정에서의 공정 단계들에서 이송될 가스 펄스의 프로파일 및 시퀀싱의 레시피의 함수로서 상기 가스 펄스를 순차적 방식으로 이송하기 위하여, 상기 제어 밸브를 반복적으로 개폐하기 위한 상기 레시피를 수신하도록 동작하고,

상기 전용 제어기는, 단일 트리거 신호에 응답하여, 상기 제어 밸브를 반복적으로 개폐하여 사용시 수신된 상기 레시피의 모든 단계에 따라 질량 유량을 이송하도록 동작하는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

호스트 제어기를 더 포함하고, 상기 호스트 제어기는 상기 트리거 신호를 제공하는, 펄스 가스 이송 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 호스트 제어기는 상기 전용 제어기에 상기 레시피를 업로드 하도록 동작하는, 펄스 가스 이송 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 질량 유량 제어기는 적어도 두 개의 동작 모드 중 하나로 동작하는, 펄스 가스 이송 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 모드 중 하나에서 상기 질량 유량 제어기는 공정 틀로 이송된 가스의 유량을 제어하기 위하여 상기 레시피의 일부로서 유량 설정점 신호를 수신하는 통상적인 질량 유량 제어기(MFC)로서 동작하도록 구성되는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 모드 중 하나에서 상기 질량 유량 제어기는 펄스 가스 이송(PGD) 모드에서 동작하도록 구성되는,
펄스 가스 이송 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 PGD 모드에서, 상기 질량 유량 제어기는, 상기 질량 유량 제어기가 사용자에게 의해 제공된 시간 펄스의 시퀀스와 프로파일을 포함하는 레시피에 따라 공급부로부터 공정 톨로 가스를 이송할 수 있도록 펄스의 필요한 시퀀싱 및 펄스 프로파일을 수신하도록 구성되는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 전용 제어기는 호스트 제어기로부터 상기 전용 제어기로 구성되거나 다운로드된 정보에 응답하여 상기 펄스의 시퀀싱 및 상기 프로파일로 프로그래밍되는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 호스트 제어기로부터 상기 전용 제어기로 구성되거나 다운로드된 정보는 상기 호스트 제어기로부터 수신된 상기 단일 트리거 신호에 응답하여 상기 질량 유량 제어기가 모든 시퀀싱 단계들을 수행하게 하는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 전용 제어기는 펄스 가스 이송 공정의 적어도 3개의 상이한 타입 중 어느 하나를 수행하도록 동작하는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 펄스 가스 이송 공정의 3개의 상이한 타입은 시간 기반 이송 공정, 물 기반 이송 공정 및 프로파일 기반 이송 공정을 포함하는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 시간 기반 이송 공정에 따라 가스를 이송하도록 구성될 때, 상기 전용 제어기는,

상기 시간 기반 이송 공정을 위한 파라미터인,

- (1) 적어도 하나의 목표 유량 설정점(Q_{sp}),
 - (2) 펄스-온 기간(T_{on})의 적어도 하나의 시간 길이,
 - (3) 각 펄스-오프 기간(T_{off})의 적어도 하나의 시간 길이, 및
 - (4) 전체의 상기 펄스 가스 이송 공정을 완료하기 위하여 필요한 펄스의 전체 수(N)
- 를 포함하도록 사용자에게 의해 구성되는,
펄스 가스 이송 시스템.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 물 기반 이송 공정에 따라 가스를 이송하도록 구성될 때, 상기 전용 제어기는,

상기 물 기반 이송 공정을 위한 파라미터인,

- (1) 적어도 하나의 물 이송 설정점(n_{sp}),
- (2) 펄스-온 기간(T_{on})의 적어도 하나의 목표 시간 길이,
- (3) 전체 펄스-온 및 오프 기간(T_{total})의 적어도 하나의 시간 길이, 및
- (4) 이송될 펄스의 수(N)

를 포함하도록 사용자에게 의해 구성되어, 상기 전용 제어기가 이전의 이송량의 피드백과 유량 센서에 의해 측정된 값에 기초하여 가스의 목표 물 양을 목표 펄스-온 기간 내에서 정밀하게 이송하기 위하여 상기 펄스-온 기간 및 상기 물 이송 설정점을 자동으로 조정하도록 동작하는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

가스는 다음의 수학적식:

$$\Delta n = \int_{t_1}^{t_2} Q \cdot dt$$

에 따라 이송되고,

여기에서, Δn 은 상기 펄스-온 기간(시간 t_1 과 t_2 사이) 동안 이송된 가스의 물의 수이고,

Q 는 상기 펄스-온 기간 동안 상기 유량 센서에 의해 측정된 유량인,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 프로파일 기반 이송 공정에 따라 가스를 이송하도록 구성될 때, 상기 전용 제어기는,

상기 프로파일 기반 이송 공정의 각 펄스에 대한 파라미터인,

(1) 유량 설정점(Q_{sp1}) 및 대응하는 제1 펄스-온 및 오프 기간(T_{on1} T_{off1}),

(2) 유량 설정점(Q_{sp2}) 및 대응하는 제2 펄스-온 및 오프 기간(T_{on2} T_{off2}), ...

(m) 유량 설정점(Q_{spm}) 및 대응하는 제m 펄스-온 및 오프 기간(T_{onm} T_{offm})

을 포함하도록 사용자에게 의해 구성되는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 프로파일 기반 이송 공정에 따라 가스를 이송하도록 구성될 때, 상기 전용 제어기는,

상기 프로파일 기반 이송 공정의 각 펄스에 대한 파라미터인,

(1) 물 이송 설정점(n_{sp1}) 및 대응하는 제1 펄스-온 및 오프 기간(T_{on1} T_{off1}),

(2) 물 이송 설정점(n_{sp2}) 및 대응하는 제2 펄스-온 및 오프 기간(T_{on2} T_{off2}), ...

(m) 물 이송 설정점(n_{spm}) 및 대응하는 제m 펄스-온 및 오프 기간(T_{onm} T_{offm})

을 포함하도록 사용자에게 의해 구성되는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 17

제1항에 있어서,

복수의 가스 펄스 세트의 이송을 위하여 복수의 상기 질량 유량 제어기를 더 포함하는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서,

호스트 제어기는 복수의 상기 질량 유량 제어기에 해당하는 상기 트리거 신호를 시차를 두어 제공하도록 구성되는,

펄스 가스 이송 시스템.

청구항 19

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] [관련 출원에 대한 교차 참조]

[0002] 준후아 덩(Junhua Ding)의 이름으로 2010년 9월 29일 출원되고 본 양수인에게 양도된 "SYSTEM FOR AND METHOD OF FAST PULSE GAS DELIVERY"라는 명칭의 미국 특허 출원 12/893,554호(대리인 도CKET 번호 086400-0015호(MKS-218)); 준후아 덩(Junhua Ding)의 이름으로 2011년 2월 25일 출원되고 본 양수인에게 양도된 "METHOD AND APPARATUS FOR MULTIPLE-CHANNEL PULSE GAS DELIVERY SYSTEM"이란 명칭의 미국 특허 출원 13/035,534호(대리인 도CKET 번호 086400-0027호(MKS-219)); 및 블라디스라브 데이비드코비츠(Vladislav Davidkovich) 등의 이름으로 2011년 7월 28일 출원되고 본 양수인에게 양도된 "Systems and Methods of Controlling Time-Multiplexed Deep Reactive-Ion Etching Processes"라는 명칭의 미국 특허 출원 13/193393호(대리인 도CKET 번호 086400-0059호(MKS-220))가 참조되고, 이러한 출원은 그 전문이 본 명세서에 편입된다. 이러한 모든 출원들은 이하 "동시계속출원"이라 한다.

[0003] 본 출원은 준후아 덩(Junhua Ding)의 이름으로 2011년 2월 5일 출원되고 본 양수인에게 양도된 "METHOD AND APPARATUS FOR MULTIPLE-CHANNEL PULSE GAS DELIVERY SYSTEM"이란 명칭의 동시 계속중인 미국 특허 출원 13/035,534호(대리인 도CKET 번호 086400-0027호(MKS-219))의 일부 계속 출원인, 준후아 덩(Junhua Ding)의 이름으로 2012년 1월 5일 출원되고 본 양수인에게 양도된 "SYSTEM FOR AND METHOD OF FAST PULSE GAS DELIVERY"란 명칭의 미국 특허 출원 13/344,387호(대리인 도CKET 번호 086400-0087호(MKS-224))의 이익을 주장하며, 준후아 덩(Junhua Ding), 마이클 엘바씨(Michael L' Bassi) 및 쟁충 리(Tseng-Chung Lee)의 이름으로 2011년 8월 19일 출원되고 본 양수인에게 양도된 "SYSTEM AND METHOD OF FAST PULSE GAS DELIVERY"란 명칭의 미국 가출원 61/525,452호(대리인 도CKET 번호 086400-0078호(MKS-224PR))로부터 우선권을 주장한다.

[0004] [기술분야]

[0005] 본 개시 내용은 일반적으로 몰 또는 가스 이송 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 펄스 가스 이송을 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 2개의 용어가 다른 것으로 고려된다면, "가스(gas)"라는 용어는 "증기(들)(vapor(s))"라는 용어를 포함한다.

배경 기술

[0006] 반도체 장치의 제조 또는 제작은 종종 정밀하게 계측된 십여가지의 가스의 면밀한 동기화 및 공정 툴(process tool)로의 이송을 요구한다. 본 명세서에서 목적을 위하여, 용어 "공정 툴"은 공정 챔버를 포함하거나 포함하지 않을 수 있다. 반도체 장치가 세정(clean), 연마(polish), 산화(oxidize), 마스크(mask), 식각(etch), 도프(dope), 금속화(metalize) 등이 되는 많은 개별 공정 단계를 포함하는 제조 공정에서 다양한 레시피(recipe)가 사용된다. 이용된 단계들, 그들의 특정한 시퀀스 및 관련된 물질들은 모두 특정한 장치들을 제조하는데 기여한다.

[0007] 장치 크기가 계속하여 90nm 이하로 축소됨에 따라, 원자층 증착(atomic layer deposition: ALD)으로서 알려진 하나의 기술은 구리 상호 연결부를 위한 배리어의 부착, 텅스텐 핵생성 층의 형성 및 고전도 유전체의 제조와 같은 다양한 애플리케이션을 위해 계속하여 요구된다. ALD 공정에 있어서, 2 이상의 전구체 가스들은 진공으로 유지되는 공정 툴 내에 펄스로 이송되고, 웨이퍼 표면 위를 흐른다. 2 이상의 전구체 가스는 교대 또는 순차적 방식으로 흐르고, 따라서 가스들은 웨이퍼 표면상의 사이트(site) 또는 작용기와 반응할 수 있다. 모든 이용가능한 사이트가 전구체 가스 중 하나(예를 들어, 가스 A)로 포화될 때, 반응은 중단하고 퍼지 가스가 공정 툴로부터 과잉 전구체 분자를 퍼지하기 위해 사용된다. 공정이 반복되어, 다음 순서의 전구체 가스(즉, 가스 B)가 웨이퍼 표면 위를 흐른다. 두 개의 전구체 가스를 포함하는 공정을 위하여, 사이클은 전구체 A의 하나의 펄스, 퍼지, 전구체 B의 하나의 펄스 및 퍼지로 정의될 수 있다. 사이클은 전구체 가스의 반복뿐만 아니라 전구체 가스의 연속하는 펄스 사이에 퍼지 가스를 이용하여 추가 전구체 가스의 펄스를 포함할 수 있다. 이러한 시퀀스는 두께와 같은 최종 기하학적 특성이 도달될 때까지 반복된다. 이러한 순차적이고도 자기 한정적인 표면 반응은 사이클 당 하나의 단일층 부착 필름을 제공한다.

[0008] 공정 톨 내부로 유입되는 전구체 가스의 펄스의 이송은 펄스 가스 이송(Pulse Gas Delivery: PGD) 장치를 이용하여 제어될 수 있다(이송 챔버 내외로의 가스의 제어된 흐름은 목표 양(질량)의 전구체 가스를 공정 톨의 공정 챔버 내부로 이송시키기 위하여 미리 결정된 시간 간격(펄스) 동안 입구 및 출구 온/오프(on/off)형 밸브, 간단히는 출구 차단 밸브의 개방의 타이밍을 사용한다). 이 대신에, 트랜스듀서(transducer)와, 제어 밸브(control valve)와, 제어 및 신호 처리 전자 장치를 포함하는 독립 장치인 질량 유량 제어기(mass flow controller: MFC)는 단기 간격 동안 미리 결정되고 반복적인 유량으로 가스의 양을 이송시키기 위해 사용되어 왔다.

[0009] 펄스 가스 이송(PGD) 장치는 보통 압력 기반이고 ALD 공정과 같은 반도체 제조 공정에서 사용할 수 있도록 반복적이고 정밀한 가스 양(질량)을 제공하기 위하여 최적화된다. 도 1에 도시한 바와 같이, 일반적으로, 종래의 PGD 장치는 이송 가스 챔버(12), 가스 공급부(52)로부터 챔버(12)로의 가스 유량을 제어하는 입구 차단 밸브(14) 및 이송 챔버(12)로부터 공정 톨(54)로의 가스 유량을 제어하는 출구 차단 밸브(16)를 포함한다. 호스트 제어기 또는 컴퓨터(50)는 예를 들어, 안정성 모니터링 및 제어, RF 파워 신호 및 기타 일반 작업을 포함하는 공정 톨을 위한 모든 제어 및 진단 기능을 수행할 뿐만 아니라 가스 이송 공정을 실행한다. 이송 챔버(12)의 용적은 고정되고 알려져 있으므로, 각 펄스로 이송 챔버 내로 유입되고 몰로 측정된 가스의 양은, 챔버(12)로부터 이송된 펄스의 지속 기간 동안 가스의 압력 강하, 챔버 내에서의 가스 온도 및 가스 종류의 함수이다. 따라서, 각 펄스 동안 챔버로부터 이송된 가스가 결정될 수 있도록 압력 센서(18) 및 온도 센서(20)가 제어기(24)에 압력 및 온도의 측정을 제공한다. 이에 따라, PGD 장치를 실행하는 제어 로직은 통상적이고 일반적으로 공정 톨에 관련된 호스트 제어기(50)에 있어 왔다. 입구 및 출구 밸브(14, 16)의 동작에 의해 펄스 이송 공정을 별도로 제어하는 전용 제어기(24)를 제공하는 것에 의한 개선점들이 동시계속 출원에 설명된다.

[0010] 최근에, 고속 펄스형 또는 시간-다중화형(time-multiplexed) 공정을 요구하는 소정의 공정들이 개발되어 왔다. 예를 들어, 반도체 산업은 다이-투-다이(die-to-die) 및 웨이퍼-투-웨이퍼(wafer-to-wafer) 스택을 위한 상호연결 능력을 제공하기 위하여 진보된 3D 집적 회로 TSV(Through Silicon via)를 개발하고 있다. 제조업자들은 종래 동일하게 넓은 범위의 TSV 식각 요건을 제공하는 매우 다양한 3D 집적 스킴을 고려하고 있다. 메모리 소자 및 MEMS 생산에서 딥(deep) 실리콘 식각을 위해 널리 이용되어 오고 있는 보쉬 공정(Bosch process)과 같은 플라즈마 식각 기술은 TSV 생성에 아주 적합하다. 또한, 고속 펄스형 또는 시간-다중화형 식각으로서 알려진 보쉬 공정은 SF₆을 이용하는 거의 수직인 구조 및 C₄F₈을 이용하는 화학적으로 불활성인 패시베이션층의 부착을 달성하도록 두 개의 모드 사이에서 반복적으로 교대한다. 상업적 성공을 위해 요구되는 TSV를 위한 목표는 적절한 기능성, 저비용 및 입증된 신뢰성이다.

[0011] 이러한 고속 공정은 공정들을 더 잘 제어하기 위하여 펄스의 전이 시간(transition time) 동안 고속 응답 시간을 요구하여, 압력 기반 펄스 가스 이송 장치의 사용을 문제가 많게 한다. 종래, 응답 시간을 증가시키기 위한 하나의 접근법은 호스트 제어기로부터 수신된 신호에 따라 공정 톨로 이송된 이송 펄스 가스의 가스 유량을 온 및 오프하기 위하여 고속 응답 질량 유량 제어기(MFC)를 사용하는 것이다. 그러나, 호스트 제어기를 가진 고속 응답 MFC를 이용하는 펄스 이송의 반복성 및 정확성은 개선의 여지가 많이 남아 있는데, 이는 응답 시간이 호스트 제어기의 작업 부하에 의존하기 때문이다. 호스트 제어기는 집중이 요구되는 다른 기능들을 실행하고 있으면 시간에 맞게 제어 신호를 전송하는 것이 방해받을 것이다. 또한, 짧은 지속 기간의 제어 신호가 호스트 제어기로부터 질량 유량 제어기로 전송되어, 통신 지터(communication jitter)가 가스 펄스의 이송에 오류를 일으킬 수 있다. 호스트 제어기의 작업 부하 및 통신 지터는 가스의 펄스를 이송하는 질량 유량 제어기와 호스트 제어기 사이의 고속 통신에 의존할 때 펄스 가스 이송의 정확성 및 반복성을 감소시키는 오류의 두 가지 원인이다.

[0012] [관련 기술에 대한 설명]

[0013] 미국 등록 특허 7615120호; 7615120호; 7628860호; 7628861호; 7662233호; 7735452호 및 7794544호; 미국 공개 특허 2006/0060139호 및 2006/0130755호, 및 출원중인 폴 메네기니(Paul Meneghini)의 이름으로 2010년 1월 19

일 출원되고 본 양수인에게 양도된 "CONTROL FOR AND METHOD OF PULSED GAS DELIVERY"라는 명칭의 미국 특허 출원 12/689,961호(대리인 도CKET 번호 56231-751(MKS-194)); 준후아 덩(Junhua Ding)의 이름으로 2010년 9월 29일 출원되고 본 양수인에게 양도된 "SYSTEM FOR AND METHOD OF FAST PULSE GAS DELIVERY"라는 명칭의 미국 특허 출원 12/893,554호(대리인 도CKET 번호 86400-015(MKS-218)) 및 준후아 덩(Junhua Ding)의 이름으로 2011년 2월 25일 출원되고 본 양수인에게 양도된 "METHOD AND APPARATUS FOR MULTIPLE-CHANNEL PULSE GAS DELIVERY SYSTEM"이란 명칭의 미국 특허 출원 13/035,534호(대리인 도CKET 번호 86400-0027(MKS-219))에서 펄스 질량 유량 이송 시스템의 예시들이 발견될 수 있다.

발명의 내용

[0014] 전술한 바와 같이, 호스트 제어기의 작업 부하 및 통신 지터는 펄스 가스 이송의 반복성 및 정확성을 감소시킨다. 따라서, 호스트 제어기의 작업 부하를 감소시키고, 호스트로부터 MFC의 제어기로 제어 신호를 이동시킴으로써, 이러한 두 가지 요인이 감소되고, 가스 펄스 이송의 반복성 및 정확성의 개선을 제공한다.

[0015] 이러한 그리고 다른 구성요소, 단계, 특징, 목적, 이점 및 장점은, 이어지는 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용 및 첨부된 도면으로부터 명백하게 될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도면들은 예시적인 실시예들을 개시한다. 이들은 모든 실시예들을 설명하지 않는다. 다른 실시예들이 추가로 또는 대신에 사용될 수 있다. 자명하거나 불필요할 수 있는 상세는 공간을 절약하기 위하여 또는 더욱 효율적인 도시를 위하여 생략될 수 있다. 반대로, 일부 실시예들은 개시된 상세가 전부 없더라도 실시될 수 있다. 동일한 도면 부호가 상이한 도면에 나타날 때, 이는 동일하거나 유사한 구성 요소 또는 단계를 말한다.

도 1은 고속 펄스 이송을 제공하는 종래의 가스 이송 시스템의 블록도이다.

도 2는 시간에 대한 유량을 도시하는 테스트 가스 펄스의 도면이다.

도 3은 본 명세서에 설명되는 기술에 따라 변경되고 고속 성능 MFC를 이용하는 가스 이송 시스템의 실시예이다.

도 4는 MFC가 호스트 제어기와 상호작용할 필요 없이 일련의 가스 펄스를 이송하고 따라서 호스트 제어기의 간접 기능에 상관없이 동작할 수 있도록 MFC에 다운로드된 전형적인 시간 기반 펄스 가스 이송 프로파일을 나타낸다.

도 5a 및 도 5b는 MFC 제어기가 호스트 제어기로부터의 트리거 신호에 응답하여, 호스트 컴퓨터에 의해 다운로드된 레시피에 의해 명령된 시퀀스로 펄스를 생성하도록 자체적으로 온 및 오프함으로써 M-펄스 프로파일을 자동으로 이송할 수 있도록 MFC 제어기를 구성하기 위한 M 펄스의 프로파일 세트의 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이제 예시적인 실시예들이 논의된다. 다른 실시예들이 추가되거나 대신 이용될 수 있다. 명백하거나 불필요할 수 있는 세부 사항은 공간 절약이나 보다 효율적인 예시를 위하여 생략할 수 있다. 반대로, 일부 실시예들은 개시되는 세부 사항의 모든 것이 없이도 실시될 수 있다.

[0018] 영(0) 유량에서 최대 유량으로 및 최대 유량에서 영(0) 유량으로 가는 MFC의 응답의 측정으로서, MFC로부터 이송된 가스의 각 펄스의 천이 에지(transient edge)의 경사를 도시하기 위하여 호스트 컴퓨터에 의해 제어된 고속 응답 MFC를 이용하는 고속 가스 펄스 이송을 분석하기 위한 테스트 셋업(set-up)을 이용하여 실험이 수행되었다. MFC에 의해 이송된 가스의 각 펄스는 레시피의 전형적인 이송 단계들의 시퀀스를 포함한 호스트 컴퓨터로 제어되었다. 이송 단계(phase) 동안 고속 응답 MFC에 의해 생성되는 하나의 펄스가 도 2에 도시된다. 도시된 바와 같이, 가스 펄스의 천이 에지(유량 대 시간)는 상당히 가파르고, 이는 MFC의 제어 밸브의 빠른 응답 시간을 나타낸다. 그러나, 실험 결과의 분석에서, 성능은 보쉬 공정과 같은 고속 공정에 대하여 시스템을 신뢰할

수 없게 만든다.

[0019] 더욱 구체적으로는, 실험은 호스트 컴퓨터에 의해 제어되는 고속 응답 MFC로부터 이송되는 가스의 양을 측정하기 위하여 질량 유량 검증기(verifier)를 사용하였고, 시스템의 반복성을 결정하기 위하여 데이터가 생성되었다. MFC에 의해 이송된 가스의 펄스는, 이전 펄스에 대한 응답의 타이밍에 대하여 각 펄스에 대한 MFC의 응답의 타이밍에서 변동에 기인하는 반복성 오류, 즉 실제 발생한 시간 및 이전 펄스의 타이밍에 기초하여 발생하여야 하는 때로부터 변동하는 상대적인 펄스를 제공하기 위한, 호스트 컴퓨터로부터의 명령에 대한 MFC의 응답에 관한 반복성 오류를 겪었다. 이 오류에 대한 원인들 중에서 호스트 제어기의 리소스(resource)에 대한 높은 요구가 이미 있다. 호스트 제어기가 MFC로 전송될 온/오프 신호를 대기 행렬로 정리하지만, 그 순간 호스트 제어기의 작업 부하에 따라 신호는 즉시 전송되지 않을 수 있다. 유사하게, 온/오프 신호가 전송될 때에도, 짧은 그리고/또는 고속 펄스 폭에 의해 초래된 MFC와 호스트 제어기 사이의 통신 지터는 반복가능하고 정확한 성능을 포함하는 펄스 가스 이송의 성능을 저하시킨다. 펄스들의 상대적인 타이밍은 많은 고속 펄스 이송 애플리케이션의 성공에 중요하다. 따라서, 이러한 문제점들을 줄이거나 극복하는 TSV 생성을 위해 이용되는 보쉬 공정과 같은 고속 펄스 이송 애플리케이션을 제공하는 것이 바람직하다.

[0020] 도 3을 참조하면, 고속 펄스 이송 애플리케이션을 제어하는데 유용한 고성능 MFC(160)의 일 실시예는, 가스 공급부(140)와 공정 톨(200) 사이에 연결되고, 공정 톨(200)에 소스 가스의 일련의 펄스를 제공하기 위하여 사용자 인터페이스/호스트 제어기(150)로부터 일련의 지시를 수신하도록 구성된다. 본 양수인에 의해 제조되고 판매되는 π MFC와 같은 고성능 질량 유량 제어기(MFC)(160)는 유량 센서(170) 및 조정가능한 제어 밸브(190)를 포함한다. 센서(170)는 센서를 통하는 질량 유량을 감지하고, 전용 MFC 제어기(180)에 측정된 유량을 나타내는 신호를 제공한다. 전용 제어기(180)는 조정가능한 제어 밸브(190)를 제어하기 위해 사용되는 제어 신호를 제공하고 이에 의해 공정 챔버와 같은 공정 톨(200)에 밸브의 출력 유량이 설정점(set point) 값에서 유지되도록 유량 설정점과 측정된 유량을 비교한다.

[0021] 본 개시 내용에 따른 일 실시예에 있어서, MFC(160)가 압력 기반 펄스 가스 이송 장치에 대한 하나의 현저한 이점을 제공하는 두 개의 동작 모드를 갖는다. 제1 모드는 호스트 제어기(150)가 공정 톨(200)에 이송된 유량을 제어하기 위하여 MFC(160)에 유량 설정점 신호를 전송하는 종래의 질량 유량 제어기(MFC) 모드이다. 제2 모드는 펄스 가스 이송(PGD) 모드이다. PGD 이송 공정에 있어서, MFC(160)는 펄스 프로파일 및 펄스의 필요한 프로파일과 시퀀싱(sequencing)을 수신하도록 배치되고, 이에 의해 MFC는 사용자에게 의해 제공된 시간 펄스의 시퀀스와 프로파일을 포함하는 레시피에 따라서 공급부(140)로부터 챔버(200)로 가스를 이송할 수 있다. 펄스의 시퀀싱과 프로파일은 사용자 인터페이스/호스트 제어기(150)로부터 전용 MFC 제어기(180)로 다운로드되는 정보에 의해 초기에 프로그래밍될 수 있다. 다운로드된 프로파일과 시퀀싱은 MFC가 인터페이스/제어기(150)로부터의 단일 트리거 신호에 응답하여 모든 시퀀싱 단계를 수행하게 한다. 전용 MFC(160)를 이용하여, 전용 제어기는 상호하게 제어되고 시간에 맞는 방식으로 모든 시퀀싱 단계를 수행하도록 구성되고 배치될 수 있어, 호스트 제어기/인터페이스가 펄스 가스 이송을 방해하지 않고 다른 모든 기능들을 수행할 수 있게 한다.

[0022] PGD 모드는 압력 기반 가스 펄스 이송 장치보다 뛰어난 이점을 더 제공하는, 시간 기반 이송, 물 기반 이송 및 프로파일 기반 이송의 펄스 가스 이송 공정의 3개의 이송 타입에 대한 운영가능한 단계를 제공한다. 시간 기반 펄스 이송 공정에 있어서, 사용자는 제어되는 공정을 위한 다음의 파라미터로 전용 MFC 제어기(180)를 구성하고 배치하도록 요구된다: (1) 적어도 하나의 목표 유량 설정점(Q_{sp}), (2) 펄스-온 기간(T_{on})의 적어도 하나의 시간 길이, (3) 각 펄스-오프 기간(T_{off})의 적어도 하나의 시간 길이 및 (4) 공정을 완료하기 위해 필요한 펄스의 전체 수(N).

[0023] 도 4에 도시된 바와 같이, MFC 제어기가 파라미터들의 함수로서 펄스 이송을 제어하도록 이러한 파라미터가 호스트 제어기로부터 MFC의 전용 MFC 제어기로 다운로드되거나 구성된다. 펄스 가스 이송 시퀀스가 이송되는 것일 때, 호스트 컴퓨터는 간단하게 MFC에 트리거 신호를 제공하고, MFC는 펄스의 시퀀스를 수행한다. 도 4에 도

시된 바와 같이, MFC(160)가 이송을 시작하기 위하여 호스트 제어기(150)로부터 트리거 신호를 수신하자마자, MFC(160)는 각 펄스 기간을 위한 규정된 펄스-온 기간 및 펄스-오프 기간에 기초하여 MFC를 온(밸브의 개방을 조정함으로써 목표 유량 설정점까지 유량을 제어) 및 오프(밸브를 폐쇄함으로써 영(0)까지 유량을 제어)함으로써 레시피에 따른 PGD 공정을 제어한다. 이는 펄스의 시퀀싱, 타이밍 및 지속 기간에 대한 매우 양호한 제어를 제공한다.

[0024] 물 기반 펄스 이송을 위하여, 사용자는 다음의 파라미터를 특정한다: (1) 물 이송 설정점(n_{sp}), (2) 펄스-온 기간의 목표 시간 길이(T_{on}), (3) 전체 펄스-온 및 오프 기간(T_{total}) 및 (4) 펄스의 수(N). 이 정보에 기초하여, MFC(160)의 전용 제어기(180)는 다음의 수학적식에 따라 유량 센서(170)에 의해 측정된 값에 기초하여 가스의 목표 물 양을 목표 펄스-온 기간 내에서 정밀하게 이송하기 위하여 펄스-온 기간과 유량 설정점을 자동으로 조정하도록 구성되고 배치된다.

수학적식 1

$$\Delta n = \int_{t1}^{t2} Q \cdot dt$$

[0025]

[0026] 여기에서, Δn 은 펄스-온 기간(시간 $t1$ 과 $t2$ 사이) 동안 이송된 가스의 물의 수이고, Q 는 펄스-온 기간 동안 MFC(160)의 센서(170)에 의해 측정된 유량이다.

[0027] 따라서, 물 기반 펄스 이송 모드를 이용하여, MFC는 각 펄스로 이송되는 물의 수를 제어하도록 유량 설정점과 실제 펄스-온 기간을 제어하고, 필요에 따라 조정한다. 이러한 파라미터들에 기초하여, MFC는 정밀한 타이밍 시퀀스로 유량의 N 개의 펄스를 자동으로 이송하고, 각 펄스가 MFC 온되어 있는 각 전체 펄스 기간의 부분 동안 Δn 물을 이송하고, 전체 펄스-온 및 오프 기간(T_{total})의 나머지 동안 MFC 오프한다. 물 기반 펄스 이송 동작의 동작동안, MFC(160)는 각 펄스에 대해 목표 펄스-온(T_{on}) 내에서 원하는 물의 수를 정밀하게 이송하도록 이전 이송의 피드백에 기초하여 실제 펄스-온 기간 및 유량 설정점(Q_{sp})을 자동으로 조정할 것이다.

[0028] 여러 개의 공정 톨이 사용되거나, 공정 톨의 다른 부품(part)으로의 유량이 매치되도록 요구될 때, 물 기반 이송이 바람직하다(그러나 요구되지 않음). 이러한 경우에, 여러 개의 고성능 MFC가 대응하는 여러 개의 이송 채널을 통하여 유량을 제공하는데 이용된다. 물 이송이 정밀한 것을 보장하도록, 각 MFC(160)는 자신의 밸브(190)를 제어하기 위하여 자신의 유량 센서(170)로부터 피드백 제어 루프를 이용한다. 따라서, 여러 개의 이송 채널이 이용될 때, 응답 시간, 밸브 컨덕턴스 등에서 변동이 있을 수 있다. 이러한 경우에, 물 기반 펄스 이송은 이 인자들에 불구하고, 물 이송이 이 인자들과는 독립적일 것이므로, 각 이송 채널에서 각 펄스로 이송된 가스의 양(물)이 동일한 것을 보장하는데 이용될 수 있다. 일 실시예에서, 피드백이 밸브 응답 시간에 의해 발생된 이송된 가스의 양에서의 오류를 보정하는데 이용된다.

[0029] 다른 파라미터 또는 파라미터의 다른 조합이 가스 이송을 제어하는데 이용될 수 있다는 것이 고려된다. 예를 들어, 시간 기반 이송을 위하여, 오프 유량 설정점이 영(0)으로 디폴트 설정되는 대신에 T_{off} 기간 동안 가스의 이송을 위하여 입력될 수 있다.

[0030] PGD 제어 책임성이 호스트 제어기(150)로부터 제거되어 왔고(작업 부하에 의한 딜레이 감소), 신호 전송이 MFC(160)에(사실은 내에서) 더 근접하기(통신 지터 감소) 때문에, 반복성 및 정확성이 MFC의 전용 제어기를 이용하는 시간 기반 및 물 기반 이송 방법의 양자에 의해 개선된다.

[0031] 최종적으로, 동작의 제3 모드는 프로파일 펄스 모드이다. 이송의 프로파일 펄스 형의 일 실시예에 있어서, 사용자는 2 이상의 펄스를 특징짓는 프로파일을 생성한다. 프로파일에서 각 펄스에 대하여, 사용자는 유량 설정점 및 대응하는 온 및 오프 펄스 기간, 즉, (1) 유량 설정점(Q_{sp1}) 및 대응하는 제1 펄스-온 및 오프 기간(T_{on1} T_{off1}), (2) 유량 설정점(Q_{sp2}) 및 대응하는 제2 펄스-온 및 오프 기간(T_{on2} T_{off2}), ... (m) 유량 설정점(Q_{spm}) 및 대응하는 제m 펄스-온 및 오프 기간(T_{onm} T_{offm})을 특징한다. 따라서, 파라미터 세트가, 전체 펄스 세트의 각 펄스에 대하여 제공되어, 실행되는 공정의 타입에 따라 펄스가 변동하게 한다. 도 5a 및 도 5b는 펄스 프로파일 세트들의 두 개의 예를 보여준다. 일부 실시예에서, T_{on} 동안 설정점을 변동시키는 것으로 사용자가 보통의 온/오프 펄스를 정의하는 반면(도 5a에 도시된 바와 같이), 다른 실시예에서, 사용자는 도 5b에 도시된 바와 같이 계단형 프로파일이 생성될 수 있도록 온 기간과 오프 기간의 양자를 위해 2 이상의 유량 설정점을 입력할 수 있다. 후자는 MFC가 비례 제어 밸브(proportional control valve)를 채용하기 때문에 가능하다. 셋 오프/온 밸브와 달리, 비례 제어 밸브는 도 1에 도시한 바와 같은, 완전 개방 위치 및 완전 폐쇄 위치 사이의 임의의 위치에서 설정될 수 있어, 압력 기반 PGD 장치보다 더 많은 이점을 제공한다. 또한, 프로파일 펄스 이송 모드에서, 사용자는 프로파일 레시피에서 각각의 펄스에 대하여 대응하는 펄스-온 및 오프 기간(T_{oni} T_{offi})과 함께 유량 설정점(Q_{spi}) 대신 물 이송 설정점(n_{spi})을 특정할 수 있다.

[0032] 따라서, 호스트 제어기(150)는 아니고, MFC(160)가, 제어 밸브(190)의 개폐 동작, 그리고 이에 따른 가스 이송을 조정한다. 역사적으로, MFC는 이러한 상대적으로 짧은 펄스를 가지고 이러한 PDG 제어 책임을 정확하게 수행하는 것이 불가능한 아날로그 장치이었다. 하지만, 새로운 디지털 MFC는 MFC의 비례 제어 밸브를 제어하는 책임을 질 수 있다. 전술한 보다 빠른 PGD 공정을 위한 수요를 감안할 때, 그렇지 않은 경우에 가능할 수 있는 것 보다 더 높은 반복성 및 정확성이 PGD 이송 공정을 실행하기 위하여 전용 MFC 제어기(180)를 이용하여 달성된다. MFC를 온/오프 하도록 신호를 전송하여야 하는 호스트 제어기 대신에, 공정 기능들은 보다 정확한 이송을 보장하면서 상당한 양의 하드웨어를 제거하는, 도 3의 MFC(160)에 의해서만 수행된다. 요구된 제어 레시피 파라미터는, 아래에 보다 상세하게 설명되는 바와 같이, 사용되는 PGD 모드의 타입에 기초하여 달라진다. 또한, 호스트 제어기(150)는 펄스 가스 이송을 중지하기 위하여 언제든지 MFC 제어기(180)에 중지 신호를 전송할 수 있다. 예를 들어, 안정성 체크를 실패하면, 호스트 제어기(150)는 공정 내에 있는 트리거된 가스 이송 시퀀스를 즉시 중단하도록 MFC(160)에 요구할 수 있다. 유사하게, 호스트 제어기(150)가 부정확한 가스 이송이 수행되고 있는 것을 검출하면, 호스트 제어기(150)는 중지 신호를 전송할 수 있다. 이러한 방식으로, 호스트 컴퓨터(150)는 가스 이송 단계들이 MFC(160)의 전용 제어기(180)에 전용되는 동안, 다른 공정을 계속 모니터링할 수 있다.

[0033] 본 개시 내용의 다양한 실시예에 있어서, 호스트 제어기(150)는 전술한 바와 같이 대응하는 수의 이송 채널과 함께 사용된 복수의 MFC(160)와 함께 사용될 수 있다. 호스트 제어기(150)는 각 MFC(160)로 시기 적절한 트리거 신호를 전송한다. 따라서, 호스트 제어기(150)는 복수의 MFC(160)를 순차적으로 또는 동시에 트리거 하기 위하여 트리거 신호를 오프셋할 수 있다. 이러한 구성에서, 호스트 제어기(150)는 이송 채널이 동시에 가스를 이송하지 않도록 트리거 신호에 시차를 둘 수 있다. 예를 들어, 제어 파라미터가 두 개의 MFC(160)의 각각에서 0.25s의 T_{on} 및 0.75s의 T_{off} 를 정의하는 것으로 가정하라. 호스트 제어기(150)는 제1 MFC를 트리거하고 0.5s 후에 트리거 신호를 제2 MFC로 전송하면, 공정 튠(200)은 0.25s의 T_{on} 및 0.25s의 T_{off} 에 해당하는 가스의 이송을 공급받을 것이다(두 개의 가스 챔버가 동일한 가스로 채워지는 경우).

[0034] 개시된 접근 방식을 이용한 시험 결과는 공정을 제어하기 위하여 호스트 컴퓨터를 이용하는 실험적인 접근 방식 이상으로 2차수의 크기 만큼 반복성 에러에서의 개선을 나타내었다.

[0035] 설명한 바와 같이, 가스 이송 시스템은 반도체 튠로 흐르는 물질의 양(질량)을 신뢰성 있게 측정하고, 신뢰성 있고 반복가능한 방식으로 상대적으로 짧은 지속 기간의 펄스로 가스의 질량의 정확한 이송을 제공한다. 또한,

시스템은 정확하고, 신뢰성 있고, 반복 가능한 결과를 달성하기 위하여 가스를 우회시킬 필요 없이, 넓은 범위의 값에 대하여 원하는 몰 수의 가스 이송을 제공하면서, 보다 단순화된 동작을 채택한다.

[0036] 논의된 부품, 단계, 특징, 목적, 이익 및 이점은 단지 예시적이다. 그 중 어느 것도 그리고 그와 관련된 어떠한 논의는 어떠한 방법으로도 보호 범위를 제한하려고 의도되지 않는다. 또한, 많은 다른 실시예들이 고려될 수 있다. 이는 더 적은, 추가적인 그리고/또는 상이한 부품, 단계, 특징, 목적, 이익 및 이점을 가지는 실시예들을 포함한다. 또한, 이들은 부품 및/또는 단계가 상이하게 배열되거나 나열되는 실시예들을 포함한다.

[0037] 달리 언급되지 않는다면, 본 명세서 및 특허청구범위에 설명된 모든 측정, 값, 등급, 위치, 규모, 크기 및 다른 사양은 근사적인 것으로 정확한 것은 아니다. 이들은 관련된 기능 및 관련된 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상적인 것과 양립하는 적절한 범위를 갖도록 의도된다.

[0038] 본 개시 내용에 인용되는 모든 논문, 특허, 특허 출원 및 다른 간행물은 본 명세서에 참조로서 편입된다.

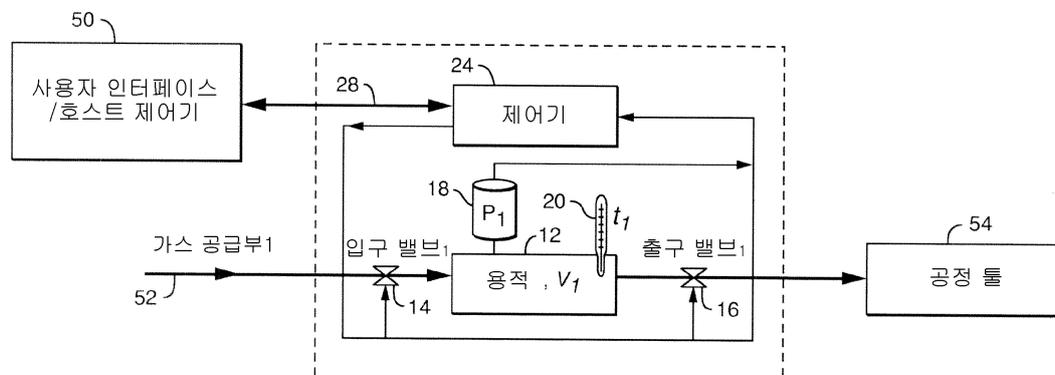
[0039] 특허청구범위에서 사용될 때 "~하는 수단"이라는 문구는 설명된 대응하는 구조 및 재료와 그 균등물을 포함하도록 의도되고 이해되어야만 한다. 유사하게, 특허청구범위에서 사용될 때 "~하는 단계"라는 문구는 설명된 대응하는 구조 및 재료와 그 균등물을 포함하도록 의도되고 이해되어야만 한다. 특허청구범위에서 이러한 문구가 없는 것은 특허청구범위가 대응하는 구조, 재료 또는 동작이나 그 균등물의 어느 것에도 제한되려고 의도되거나 이해되지 않아야 한다.

[0040] 설명되고 예시된 어떤 것도, 특허청구범위에 언급되는지 여부에 관계없이, 임의의 부품, 단계, 특징, 목적, 이점, 이익 또는 균등물 중 어느 것도 공중에 대한 기부를 발생시키는 것으로 의도되거나 이해되어서는 안 된다.

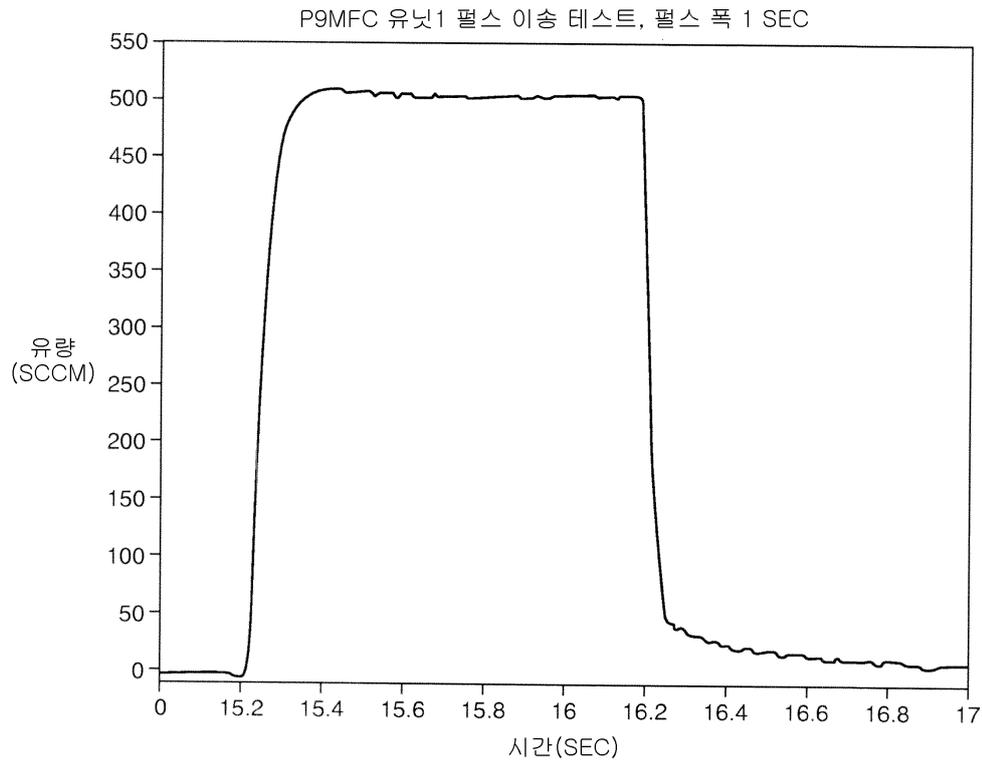
[0041] 보호 범위는 단지 이어지는 특허청구범위에 의해서만 제한된다. 그 범위는 본 명세서 및 이어지는 출원 경과의 견지에서 이해될 때 특허청구범위에 사용된 언어의 통상적인 의미와 일치하는 한 넓게 되고, 모든 구조적 기능적 균등물을 포함하도록 이해되어야 한다.

도면

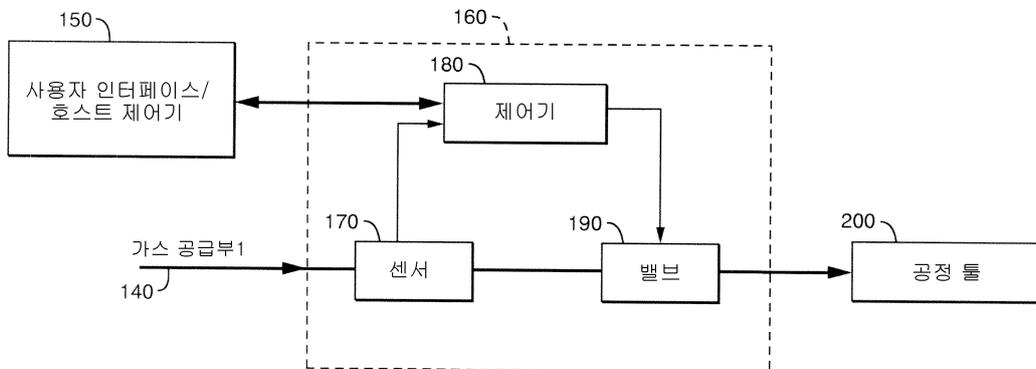
도면1



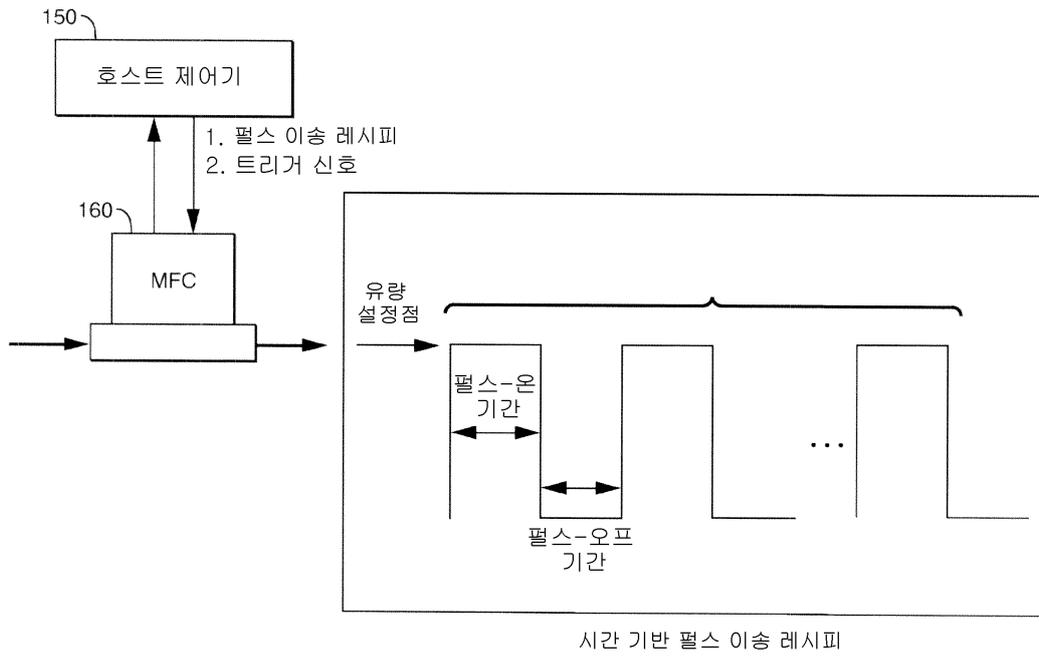
도면2



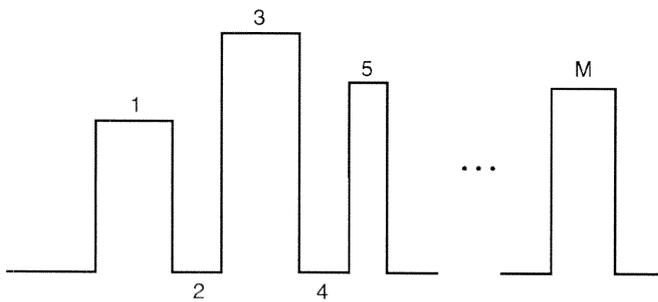
도면3



도면4



도면5a



도면5b

