



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년01월15일
 (11) 등록번호 10-0878577
 (24) 등록일자 2009년01월07일

(51) Int. Cl.
G05D 7/06 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2004-7005666
 (22) 출원일자 2004년04월16일
 심사청구일자 2007년07월04일
 번역문제출일자 2004년04월16일
 (65) 공개번호 10-2004-0062569
 (43) 공개일자 2004년07월07일
 (86) 국제출원번호 PCT/JP2002/010733
 국제출원일자 2002년10월16일
 (87) 국제공개번호 WO 2003/034169
 국제공개일자 2003년04월24일
 (30) 우선권주장
 JP-P-2001-00320560 2001년10월18일 일본(JP)
 (56) 선행기술조사문헌
 JP평성11202945 A
 JP평성09312900 A
 전체 청구항 수 : 총 18 항

(73) 특허권자
씨케이디 가부시키 가이샤
 일본 아이치켄 코마키시 오우지 2-초메 250
 (72) 발명자
나와타토쿠히디
 일본486-8530, 아이치-켄, 카すが이-시, 호리노우치-쵸, 850, 씨케이디가부시키가이샤내
수도히요시히사
 일본486-8530, 아이치-켄, 카수가이-시, 호리노우치-쵸, 850, 씨케이디가부시키가이샤내
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
서봉석, 서원호, 윤복균

심사관 : 박태욱

(54) 펄스 샷 타입 유량 조정 장치 및 펄스 샷 타입 유량 조정방법

(57) 요약

유량 조정 장치 및 유량 조정 방법으로서, 펄스 샷 타입과 같은 새로운 방식을 이용하는 것에 의해, 종래의 제약을 해결하고자 하는 것이다. 펄스 샷(제1 차단 밸브(12)의 개폐 동작을 행한 후 제2 차단 밸브(17)의 개폐 동작을 행하는 것)을 반복하고, 압력 센서(14)에서 측정된 가스 충전 용적(13)의 프로세스 가스의 충전 후 압력·배출 후 압력P 등에 기초하여, 단위 시간당, 제2 차단 밸브(17)로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 산출하고, 또한, 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것에 의해, 단위 시간당, 제2 차단 밸브(17)로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 조정한다.

(72) 발명자

코우케츄마사유키

일본486-8530, 아이치-켄, 카すが이-시, 호리노우치-
쵸, 850, 씨케이디가부시킴사내

와타나베마사유키

일본486-8530, 아이치-켄, 카수가이-시, 호리노우치-
쵸, 850, 씨케이디가부시킴사내

도이하로키

일본486-8530, 아이치-켄, 카수가이-시, 호리노우치-
쵸, 850, 씨케이디가부시킴사내

특허청구의 범위

청구항 1

가스원에 접속된 제1 차단 밸브와, 상기 제1 차단 밸브에 접속된 제2 차단 밸브와, 상기 제1 차단 밸브와 상기 제2 차단 밸브의 사이의 가스 충전 용적과, 상기 가스 충전 용적의 압력을 계측하는 압력 센서,를 가지는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치로서,

상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제2 차단 밸브의 개폐를 행하는 펄스 샷을 반복하고, 상기 압력 센서에서 계측된 상기 가스 충전 용적의 충전 후 압력·배출 후 압력에 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 한편,

상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것에 의해, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 조정하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 펄스 샷마다 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적을 산출하여 계산하는 것에 의해, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 펄스 샷을 반복하여 행하는 소정 주기에 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 펄스 샷을 반복하여 행하는 소정 주기를 변화시키는 것에 의해, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제1 차단 밸브 또는 상기 제2차단 밸브의 열림 동작 지속 시간을 변화시키는 것에 의해, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 가스 충전 용적의 온도를 계측하는 온도 센서를 더 포함하고,

상기 온도 센서에서 계측된 상기 가스 충전 용적의 온도에도 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행할 때까지의 사이(충진시)의 단열 변화에 따른 압력 변화의 변화율에 기초하여 충전 후의 열평형 상태의 충전 후 추정 압력을 추정하고, 상기 충전 후 추정 압력을 상기 충전 후 압력으로서 이용하고,

상기 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행할 때까지의 사이(배출시)의 단열 변화에 따른 압력 변화의 변화율에 기초하여 배출 후의 열평형 상태의 배출 후 추정 압력을 추정하고, 상

기 배출 후 추정 압력을 상기 배출 후 압력으로서 이용하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 제1 차단 밸브는, 상기 압력 센서에서 계측되는 상기 가스 충전 용적의 압력이 소정값 이상이 되는 경우에는 닫히도록 하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

반도체 제작 장치에서 사용되는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치.

청구항 10

가스원에 접속된 제1 차단 밸브와, 상기 제1 차단 밸브에 접속된 제2 차단 밸브와, 상기 제1 차단 밸브와 상기 제2 차단 밸브의 사이의 가스 충전 용적과, 상기 가스 충전 용적의 압력을 계측하는 압력 센서,를 가지는 유량 조정 장치를 이용하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법으로서,

상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제2 차단 밸브의 개폐를 행하는 펄스 샷을 반복하고, 상기 압력 센서에서 계측된 상기 가스 충전 용적의 충전 후 압력·배출 후 압력에 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 한편,

상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것에 의해, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 조정하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 펄스 샷마다 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적을 산출하여 계산하는 것에 의해, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 펄스 샷을 반복하여 행하는 소정 주기에 기초하고, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 펄스 샷을 반복하여 행하는 소정 주기를 변화시키는 것에 의해, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법.

청구항 14

제 10 항에 있어서,

상기 제1 차단 밸브 또는 상기 제2 차단 밸브의 열림 동작 지속 시간을 변화시키는 것에 의해, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법.

청구항 15

제 10 항에 있어서,

상기 가스 충전 용적의 온도를 계측하는 온도 센서를 이용하고,

상기 온도 센서에서 계측된 상기 가스 충전 용적의 온도에도 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가

스의 체적 유량을 산출하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법.

청구항 16

제 10 항에 있어서,

상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행할 때까지의 사이(충진시)의 단열 변화에 따른 압력 변화의 변화율에 기초하여 충전 후의 열평형 상태의 충전 후 추정 압력을 추정하고, 상기 충전 후 추정 압력을 상기 충전 후 압력으로서 이용하고,

상기 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행할 때까지의 사이(배출시)의 단열 변화에 따른 압력 변화의 변화율에 기초하여 배출 후의 열평형 상태의 배출 후 추정 압력을 추정하고, 상기 배출 후 추정 압력을 상기 배출 후 압력으로서 이용하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법.

청구항 17

제 10 항에 있어서,

상기 제1 차단 밸브를, 상기 압력 센서에서 측정되는 상기 가스 충전 용적의 압력이 소정값 이상이 되는 경우에는 닫히도록 하는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법.

청구항 18

제 10 항에 있어서,

반도체 제작 장치에서 사용되는 것을 특징으로 하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법.

명세서

기술분야

<1> 본 발명은, 가스의 체적 유량을 조정하기 위한 펄스 샷 타입 유량 조정 장치 및 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에 관한 것이다.

배경기술

<2> 종래, 반도체 제조 장치 등의 가스 공급 시스템에서, 가스의 유량을 제어하기 위하여, 예를 들면, 열 타입 질량 유량계, 소닉-타입 유량계, 코리올리 타입 유량계, 임펠러 타입 유량계, 초음파 타입 유량계, 카르만 와류 타입 유량계 등을 이용하고 있다.

<3> 그렇지만, 이들을 사용하여 가스 유량을 제어하기 위하여는, (1) 가스의 난류를 강제적으로 억제할 필요가 있고, (2) 측정 장치를 가스의 유로에 개재시킬 필요가 있으며, (3) 가스의 압력을 제한할 필요가 있는 등, 많은 제약이 있어 왔다.

<4> 여기서, 본 발명은, 상술한 문제점을 해결하기 위하여 이루어진 유량 조정 장치 및 유량 조정 방법으로서, 펄스 샷 타입과 같은 새로운 방식을 이용하는 것에 의해, 종래의 제약을 해결하고자 하는 것이다.

발명의 상세한 설명

<5> 본 발명의 목적은, 상술한 문제점을 해결하기 위하여 이루어진 유량 조정 장치 및 유량 조정 방법으로서, 펄스 샷 타입과 같은 새로운 방식을 이용하는 것에 의해, 종래의 제약을 해결하고자 하는 것이다.

<6> 이 과제를 해결하기 위하여 이루어진 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치는, 가스원에 접속된 제1 차단 밸브와, 상기 제1 차단 밸브에 접속된 제2 차단 밸브와, 상기 제1 차단 밸브와 상기 제2 차단 밸브의 사이의 가스 충전 용적과, 상기 가스 충전 용적의 압력을 측정하는 압력 센서,를 가지는 펄스 샷 타입 유량 조정 장치로서, 상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제2 차단 밸브의 개폐를 행하는 펄스 샷을 반복하고, 상기 압력 센서에서 측정된 상기 가스 충전 용적의 충전 후 압력·배출 후 압력에 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 한편, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것에 의해, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 조정하는 것을 특징으로 한다.

<7> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치는, 상기 펄스 샷마다 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는

가스의 체적을 산출하여 계산하는 것에 의해, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것이 바람직하다.

- <8> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치는, 상기 펄스 샷을 반복하여 행하는 소정 주기에 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것이 바람직하다.
- <9> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치는, 상기 펄스 샷을 반복하여 행하는 소정 주기를 변화시키는 것에 의해, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것이 바람직하다.
- <10> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치는, 상기 제1 차단 밸브 또는 상기 제2 차단 밸브의 열림 동작 지속 시간을 변화시키는 것에 의해, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것이 바람직하다.
- <11> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치는, 상기 가스 충전 용적의 온도를 측정하는 온도 센서를 더 포함하고, 상기 온도 센서에서 측정된 상기 가스 충전 용적의 온도에도 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것이 바람직하다.
- <12> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치는, 상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행할 때까지의 사이(충진시)의 단열 변화에 따른 압력 변화의 변화율에 기초하여 충전 후의 열평형 상태의 충전 후 추정 압력을 추정하고, 상기 충전 후 추정 압력을 상기 충전 후 압력으로서 이용하고,
- <13> 상기 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행할 때까지의 사이(배출시)의 단열 변화에 따른 압력 변화의 변화율에 기초하여 배출 후의 열평형 상태의 배출 후 추정 압력을 추정하고, 상기 배출 후 추정 압력을 상기 배출 후 압력으로서 이용하는 것이 바람직하다.
- <14> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치는, 상기 제1 차단 밸브는, 상기 압력 센서에서 측정되는 상기 가스 충전 용적의 압력이 소정값 이상이 되는 경우에는 닫히도록 하는 것이 바람직하다.
- <15> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치는, 반도체 제작 장치에서 사용되는 것이 바람직하다.
- <16> 또한, 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 가스원에 접속된 제1 차단 밸브와, 상기 제1 차단 밸브에 접속된 제2 차단 밸브와, 상기 제1 차단 밸브와 상기 제2 차단 밸브의 사이의 가스 충전 용적과, 상기 가스 충전 용적의 압력을 측정하는 압력 센서,를 구비하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법으로서, 상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제2 차단 밸브의 개폐를 행하는 펄스 샷을 반복하고, 상기 압력 센서에서 측정된 상기 가스 충전 용적의 충전 후 압력·배출 후 압력에 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 한편, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것에 의해, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 조정하는 것을 특징으로 한다.
- <17> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 상기 펄스 샷마다 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적을 산출하여 계산하는 것에 의해, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것이 바람직하다.
- <18> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 상기 펄스 샷을 반복하여 행하는 소정 주기에 기초하여, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것이 바람직하다.
- <19> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 상기 펄스 샷을 반복하여 행하는 소정 주기를 변화시키는 것에 의해, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것이 바람직하다.
- <20> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 상기 제1 차단 밸브 또는 상기 제2 차단 밸브의 열림 동작 지속 시간을 변화시키는 것에 의해, 상기 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것이 바람직하다.
- <21> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 상기 가스 충전 용적의 온도를 측정하는 온도 센서를 더 포함하고, 상기 온도 센서에서 측정된 상기 가스 충전 용적의 온도에도 기초하며, 상기 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하는 것이 바람직하다.
- <22> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행할 때까지의 사이(충진시)의 단열 변화에 따른 압력 변화의 변화율에 기초하여 충전 후의 열평형 상태의 충전 후 추정 압력을 추정하고, 상기 충전 후 추정 압력을 상기 충전 후 압력으로서 이용하고, 상기 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행할 때까지의 사이(배출

시)의 단열 변화에 따른 압력 변화의 변화율에 기초하여 배출 후의 열평형 상태의 배출 후 추정 압력을 추정하고, 상기 배출 후 추정 압력을 상기 배출 후 압력으로서 이용하는 것이 바람직하다.

<23> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 상기 제1 차단 밸브를, 상기 압력 센서에서 측정되는 상기 가스 충전 용적의 압력이 소정값 이상이 되는 경우에는 닫히도록 하는 것이 바람직하다.

<24> 또한, 본 발명에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 반도체 제작 장치에서 사용되는 것이 바람직하다.

<25> 이와 같은 특징을 가지는 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치 및 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 이하에 설명하는 펄스 샷 타입이라고 하는 새로운 방식을 이용하는 것에 의해, 가스의 체적 유량을 조정한다.

<26> 또한, 제1 차단 밸브 및 제2 차단 밸브가 닫힌 상태에 있는 때, 제1 차단 밸브의 개폐 동작을 행한 후 상기 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행하는 펄스 샷을 1회 행한 후, 제1 차단 밸브와 제2 차단 밸브 사이의 가스 충전 용적의 압력이, 제1 차단 밸브가 열린 동작에서 상승하고, 제2 차단 밸브가 열린 동작에서는 하강한다. 따라서, i 회째의 펄스 샷에서, 가스 충전 용적의 충전 후 압력을 $P_{i\text{fill}}$, 가스 충전 용적의 배출 후 압력을 $P_{i\text{redu}}$, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적을 Q_i 로 하면, i 회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 Q_i 는, 대기압으로 환산하면, 이하의 식(1)에서 구해진다.

<27>
$$Q_i = V(P_{i\text{fill}} - P_{i\text{redu}})/1.0332 * a \dots \text{식(1)}$$

<28> 이 때, 'V'는 가스 충전 용적의 용적이고, 'a'는 수정 계수(제1 및 제2 차단 밸브의 유량 특성 등으로부터 발생하는 편차의 수정항)이다.

<29> 그리고, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치 및 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서는, 펄스 샷을 반복하는 것으로부터, 예를 들면, i회째부터 j회째의 펄스 샷에서, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 $Q(i, j)$ 는, 이하의 식(2)에서 구할 수 있다.

<30>
$$Q(i, j) = Q_i + Q_{i+1} + \dots + Q_{j-1} + Q_j \dots \text{식(2)}$$

<31> 또한, 펄스 샷이 소정 주기F로 반복되는 경우에는, 소정 주기 F의 역수를 r(회/초)로 하면, 예를 들면, (i+1)회째의 펄스 샷으로부터 1초당의, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 $Q(i+1, i+r)$ 는, 이하의 식(3)에서 구할 수 있다.

<32>
$$Q(i+1, i+r) = Q_{i+1} + Q_{i+2} + \dots + Q_{i+r-1} + Q_{i+r} \dots \text{식(3)}$$

<33> 각 펄스 샷의 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 $Q_{i+1} + Q_{i+2} + \dots + Q_{i+r-1} + Q_{i+r}$ 이 같다고 하면, 식(3)은, 예를 들면, 이하의 식(4)로 간략하게 구할 수 있다.

<34>
$$Q(i+1, i+r) = r \times Q_{i+1} \dots \text{식(4)}$$

<35> 또한, 식(4)를 응용하면, (i+1) 회째의 펄스 샷으로부터 S초 사이의, 제2차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 $Q(S)$ 는, 이하의 식(5)에서 구할 수 있다.

<36>
$$Q(S) = S \times Q(i+1, i+r) \dots \text{식(5)}$$

<37> 이 때, 식(5)에서는, 식(3)의 $Q(i+1, i+r)$ 를 사용하여도 좋고, 식(4)의 $Q(i+1, i+r)$ 를 사용하여도 좋다.

<38> 또한, 상술한 식(1) ~ 식(5)에 따르면, 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것에 의해, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 Q 를 제어할 수 있다.

<39> 이 점은, 구체적으로 살펴보면, 예를 들어, 펄스 샷이 소정 주기F로 반복되는 경우에는, 펄스 샷을 반복하는 소정 주기F를 변화시키면, 소정 주기F의 r(회/초)도 변화하기 때문에, 예를 들면, i회째의 펄스 샷 직후의 1초당, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 $Q(i+1, i+r)$ 를 제어하는 것이 가능하고, 더 나아가서는, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 Q 를 제어할 수 있게 된다.

<40> 또한 상술한 식(1)에 따르면, i회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 Q_i 는, 가스 충전 용적의 충전 후 압력 $P_{i\text{fill}}$ 와 가스 충전 용적의 배출 후 압력 $P_{i\text{redu}}$ 에 좌우된다. 이 때, 제1 차단 밸브의 열림 동작 지속 시간을 변화시키면, 가스 충전 용적의 충전 후 압력 $P_{i\text{fill}}$ 을 변화시키는 것이 가능하게 되는 경우가

있고, 또한, 제2 차단 밸브의 열림 동작 지속 시간을 변화시키면, 가스 충전 용적의 배출 후 압력 $P_{i, \text{redu}}$ 을 변화시키는 것이 가능하게 되는 경우가 있기 때문에, 제1 차단 밸브의 열림 동작 지속 시간과 제2 차단 밸브의 열림 동작 지속 시간을 변화시키는 것에 의해, i회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 Q_i 를 제어하는 것이 가능하고, 더 나아가서는, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 Q 를 제어할 수 있게 된다.

<41> 또한, 상술한 식(1)에서, 가스의 온도를 고려하면, i회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 Q_i 는, 20℃ 환산하면, 이하의 식(6)에서 구할 수 있다.

<42> $Q_i(T=20) = Q_i \times 293/(T_i+273) \dots$ 식(6)

<43> 이 때, 'T_i'는, i회째의 펄스 샷에서 가스 충전 용적의 온도(℃)이고, 'Q_i(T=20)'은, i회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 Q_i 을 20℃ 환산한 값이다.

<44> 또한, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치 및 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서는, 펄스 샷 타입이라는 새로운 방식을 이용하고, 결국 제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후 제2 차단 밸브의 개폐 동작을 행하는 펄스 샷을 반복하고, 압력 센서에서 측정된 가스 충전 용적의 충전 후 압력·배출 후 압력에 기초하여, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량을 산출하고, 또한, 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것에 의해, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 조정하기 때문에, (1) 가스의 난류에 영향이 없고, 가스의 난류를 강제적으로 억제할 필요가 없으며, (2) 세관 등의 측정 장치를 가스의 유로에 개재시킬 필요가 없으며, (3) 가스의 압력이 제한될 필요가 없고, 조정기 등의 장치가 불필요하여, 종래의 제약을 해결할 수 있다.

<45> 또한, 반도체 제조 장치에서는, 부식성 가스가 사용되고, 가스 치환이 행해지며, 가스 유로의 전환 등에 차단 밸브를 사용하는 경우가 많기 때문에, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치와 펄스 샷 타입 유량 조정 방법을 반도체 제조 장치에 사용하면, (4) 세관 등의 측정 장치를 사용하지 않기 때문에, 부식에 의한 클로킹 등의 이상이 발생되지 않고, (5) 불감 부피(Dead Volume)가 없기 때문에, 가스 치환을 확실하게 행할 수 있고, (6) 제1 차단 밸브와 제2 차단 밸브를 가스 유로의 전환 등에 사용하는 것에 의해, 가스 유로의 전환 등에 사용하기 위한 차단 밸브를 줄일 수 있다.

실시예

<62> 이하, 본 발명의 실시의 형태를 도면을 참조하여 설명하기로 한다. 도1은, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 개요를 나타낸 도이다. 도1에서, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1은, 수동 밸브11과, 제1 차단 밸브12와, 가스 충전 용적13과, 압력 센서14, 온도 센서15, 제2 차단 밸브17, 제어기19 등으로부터 이루어진다. 이 때, 제1 차단 밸브12와, 압력 센서14, 온도 센서15, 제2 차단 밸브17은, 제어기19에 접속되어 있다. 따라서, 제1 차단 밸브12와 제2 차단 밸브17의 개폐 동작은, 제어기19에서 각각 제어할 수 있다. 또한, 압력 센서14는, 가스 충전 용적13에 대하여 설치되고, 가스 충전 용적13의 압력을 전기 신호로 변환한다. 또한, 온도 센서15는, 가스 충전 용적13의 온도를 전기 신호로 변환한다. 따라서, 제어기19는, 압력 센서14 및 온도 센서15를 통하여, 가스 충전 용적13의 압력과 온도를 검출할 수 있다.

<63> 또한, 여기에서, 가스 충전 용적13은, 제1 차단 밸브12와 제2 차단 밸브17가 모두 닫혀 있는 때, 제1 차단 밸브12와 제2 차단 밸브17과의 사이에 형성되는 밀폐 공간을 말한다. 구체적으로는, 예를 들면 도4에 도시한 바와 같이, 제1 차단 밸브12와 제2 차단 밸브17의 사이를, 제1 차단 밸브12와, 압력 센서14, 제2 차단 밸브17 등의 각 블록 기구와, 각 유로 블록21, 22, 23, 24에서 구성하는 경우에는, 제1 차단 밸브12의 기본 블록12B의 출구측 유로와, 유로 블록22의 유로, 압력 센서14의 기본 블록14B의 유로, 유로 블록23의 유로, 제2 차단 밸브17의 기본 블록17B의 입구측 유로 등이, 가스 충전 용적13에 상당하게 되어 있다.

<64> 이 때, 도1(및 후술하는 도7)에서는, 가스 충전 용적13의 존재를 강조하기 때문에, 가스 충전 용적13은, 상기 정의와 약간 다르게 기재되어 있다.

<65> 또한, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1은, 도1에 도시한 바와 같이, 반도체 제조 장치에 조립되어 있고, 이 때, 수동 밸브11의 상류측은, 가압된 프로세스 가스원에 접속되어 있고, 또한, 제2 차단 밸브17의 하류측에는, 진공으로 한 진공조에 접속되어 있다.

<66> 그리고, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1은, 제어기19에 의해, 펄스 샷(제1 차단 밸브18의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)을 반복하는 것에 의해, 펄스 샷 타입이라는 새로운 방식에

의해, 예를 들면, 0.1 ~ 100L/분의 프로세스 가스를 진공조로 공급한다.

<67> 이 때, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서는, 제어기19에서, 압력 센서14에서 측정된 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 충전 후 압력 $P_{i_{fill}}$ ·배출 후 압력 $P_{i_{redu}}$ 에 기초하고, 또한 온도 센서15에서 측정된 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 온도 T 에 기초하고, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 Q 를 산출한다.

<68> 구체적으로는, 제1 차단 밸브12와 제2 차단 밸브17가 닫힌 상태인 때, 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)을 1회 행하면, 제1 차단 밸브12와 제2 차단 밸브17의 사이에 있는 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 압력이, 제1 차단 밸브12의 열림 동작에서 상승하고, 제2 차단 밸브17의 열림 동작에서 하강한다.

<69> 따라서, 예를 들면, 도2에 도시한 바와 같이, 1회째의 펄스 샷에서, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 충전 후 압력 $P1_{fill}$, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 배출 후 압력을 $P1_{redu}$, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q1$ 으로 하면, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서는, 1회째의 펄스 샷에서, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q1$ 을, 이하의 식(1)'에 의해, 대기압으로 환산하여 구한다.

$$<70> Q1 = V(P1_{fill} - P1_{redu}) / 1.0332 * a \dots \text{식(1)'}$$

<71> 이 때, 'V'는 가스 충전 용적13의 용적이고, 'a'는 수정 계수(제1 차단 밸브12 및 제2 차단 밸브17의 유량 특성 등으로부터 발생하는 편차의 수정항)이다.

<72> 또한, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서는, 상술한 식(1)'에서, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 온도 T 를 고려하고, 1회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q1$ 을, 이하의 식(6)'에 의해, 20℃ 환산한다.

$$<73> Q1(T=20) = Q1 \times 293/(T1 + 273) \dots \text{식(6)'}$$

<74> 이 때, 'T1'은, 1회째의 펄스 샷에서 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 온도(℃)이다. 또한, 'Q1(T=20)'은, 1회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q1$ 을 20℃ 환산한 값이다.

<75> 또한, 도2에 도시한 바와 같이, 2회째의 펄스 샷에서, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 충전 후 압력 $P2_{fill}$, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 배출 후 압력을 $P2_{redu}$, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q2$ 로 하면, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서는, 상술한 식(1)'과 동일하게, 2회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 $Q2$ 를, 이하의 식(1)''에 의해, 대기압으로 환산하여 구한다.

$$<76> Q2 = V(P2_{fill} - P2_{redu}) / 1.0332 * a \dots \text{식(1)''}$$

<77> 또한, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서는, 상술한 식(1)''에서도, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 온도 T 를 고려하고, 2회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q2$ 를, 이하의 식(6)''에 의해, 20℃ 환산한다.

$$<78> Q2(T=20) = Q2 \times 293/(T2 + 273) \dots \text{식(6)''}$$

<79> 이 때, 'T2'는, 2회째의 펄스 샷에서 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 온도(℃)이다. 또한, 'Q2(T=20)'은, 2회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q2$ 를 20℃ 환산한 값이다.

<80> 그리고, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 상술한 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)을 반복하면서, 예를 들면, i회째부터 j회째의 펄스 샷에서, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 $Q(i, j)$ 는, 20℃ 환산하면, 이하의 식(2)'에서 구할 수 있다.

$$<81> Q(i, j)(T=20) = Q_i(T=20) + \dots + Q_{j-1}(T=20) + Q_j(T=20) \dots \text{식(2)'}$$

<82> 이 때, 'Q(i, j)(T=20)'는, i회째부터 j회째의 펄스 샷에서, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 $Q(i, j)$ 를 20℃ 환산한 값이다.

<83> 따라서, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 식(2)'를 사용하는 것에 의해, 예를 들면, 단위 시간당의, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q 를, 현재와 과거 모든 시점에서 있더라도, 20℃ 환산

으로 구할 수 있다.

- <84> 또한, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 도2에 도시한 바와 같이, 펄스 샷이 소정 주기F(예를 들면, 0.1초)로 반복되는 경우에는, 소정 주기 F의 역수를 r(회/초)로 하면, 예를 들면, (i+1)회째의 펄스 샷으로부터 1초 당, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q(i+1, i+r)는, 20℃ 환산하면, 이하의 식(3)'에서 구할 수 있다.
- <85> $Q(i+1, i+r)(T=20) = Q_{i+1}(T=20) + \dots + Q_{i+r}(T=20) \dots$ 식(3)'
- <86> 이 때, 'Q(i+1, i+r)(T=20)'는, 펄스 샷이 소정 주기F(예를 들면, r(회/초))에서 반복하면, (i+1)회째의 펄스 샷으로부터 1초 당, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q(i+1, i+r)를 20℃ 환산한 값이다.
- <87> 도1에서, 예를 들면, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 상류측의 프로세스 가스원과 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 하류측의 진공조의 압력 조건이 안정한 경우에는, (i+1)회째로부터 (i+r)회째까지의 각 펄스 샷에서, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 $Q_{i+1}(T=20), \dots, Q_{i+r}(T=20)$ 의 값은 같게 된다.
- <88> 여기서, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 상류측의 프로세스 가스원과 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 하류측의 진공조의 압력 조건이 안정한 경우에는, 식(3)'을, 예를 들면, 이하의 식(4)'로 간략하게 구할 수 있다.
- <89> $Q(i+1, i+r)(T=20) = r \times Q_{i+1}(T=20) \dots$ 식(4)'
- <90> 따라서, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 식(4)'를 사용하는 것에 의해, (i+1)회째의 펄스 샷으로부터 1초당, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q(i+1, i+r)를, (i+1)회째로부터 (i+r)회째까지의 각 펄스 샷에서 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q_{i+1}(T=20), \dots, Q_{i+r}(T=20)$ 의 어느 하나를 이용하여, 20℃ 환산으로 구할 수 있다.
- <91> 또한, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 식(4)'를 응용하면, (i+1) 회째의 펄스 샷으로부터 S초 사이의, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q(S)를, 이하의 식(5)'에 의해, 20℃ 환산으로 구할 수 있다.
- <92> $Q(S)(T=20) = S \times Q(i+1, i+r)(T=20) \dots$ 식(5)'
- <93> 이 때, 'Q(S)(T=20)'는, 펄스 샷이 소정 주기F(예를 들면, r(회/초))에서 반복하는 경우, (i+1)회째의 펄스 샷으로부터 S초 당, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q(S)를 20℃ 환산한 값이다.
- <94> 그리고, 식(5)'에서, Q(i+1, i+r)(T=20)에 관하여, 식(3)'의 것을 사용하여도 좋고, 식(4)'의 것을 사용하여도 좋다.
- <95> 따라서, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 식(5)'를 사용하는 것에 의해, (i+1)회째의 펄스 샷으로부터 S초당, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q(S)를, (i+1)회째로부터 (i+r)회째까지의 각 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 Q_{i+1}, \dots, Q_{i+r} 의 총합을 이용하여, 20℃ 환산으로 구하는 것도 가능하고, 또한, (i+1)회째로부터 (i+r)회째까지의 각 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 Q_{i+1}, \dots, Q_{i+r} 의 어느 하나를 이용하여, 20℃ 환산으로 구하는 것도 가능하다.
- <96> 또한, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 상술한 식(1)' ~ 식(5)'에 기초하여, 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)의 태양을 변화시키는 것에 의해, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 제어할 수 있다.
- <97> 이 때, 구체적으로 살펴보면, 예를 들어, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 도2에 도시한 바와 같이, 펄스 샷이 소정 주기F로 반복되는 경우에는, 펄스 샷을 반복하는 소정 주기F를 변화시키면, 소정 주기F의 역수 r(회/초)도 변화하기 때문에, 식(3)', 식(4)', 식(5)'에 의해, 예를 들면, (i+1)회째의 펄스 샷으로부터 1초당의, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q(i+1, i+r)(T=20)를 제어할 수 있게 된다.
- <98> 따라서, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)을 반복하는 소정 주기F를 변화시키는 것에 의해, 예를 들면, (i+1)회째의 펄

스 샷으로부터 1초당의, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 $Q(i+1, i+r)(T=20)$ 를 제어할 수 있게 되고, 더 나아가, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q 를 제어할 수 있게 된다.

- <99> 또한 상술한 식(1)'에 따르면, 1회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q_1 은, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 충전 후 압력 P_{1fill} 와 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 배출 후 압력 P_{1redu} 에 좌우된다.
- <100> 이 때, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 예를 들면, 도2에서, 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간 t_1 을 변화시키면, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 배출 후 압력 P_{1redu} 을 변화시키는 것이 가능하기 때문에, 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간 t_1 을 변화시키는 것에 의해, 1회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q_1 을 제어하는 것이 가능하다. 또한, 동일하게, 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간 t_2 를 변화시키면, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 배출 후 압력 P_{2redu} 을 변화시키는 것이 가능하기 때문에, 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간 t_2 를 변화시키는 것에 의해, 2회째의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q_2 를 제어하는 것이 가능하다.
- <101> 따라서, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)을 구성하는 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간 t_1, t_2, \dots 를 변화시키는 것에 의해, 각 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 Q_1, Q_2, \dots 를 제어할 수 있고, 더욱이, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q 를 제어할 수 있다.
- <102> 또한, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 예를 들면, 도2와 도3에서 도시한 바와 같이, 펄스 샷이 소정 주기 F 로 반복되고, 소정 주기 F 의 역수가 r (회/초)이 되는 경우, 동일하게, $(i+1)$ 회째로부터 $(i+r)$ 회째까지의 각 펄스 샷의 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간 $t_{i+1}, t_{i+2}, t_{i+3}, \dots, t_{i+r}$ 을 변화시키면, $(i+1)$ 회째로부터 $(i+r)$ 회째까지의 각 펄스 샷의 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 배출 후 압력 $P_{i+1redu}, P_{i+2redu}, P_{i+3redu}, \dots, P_{i+redu}$ (미도시)를 변화시키는 것이 가능하기 때문에, $(i+1)$ 회째로부터 $(i+r)$ 회째까지의 각 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q_{i+1}(T=20), Q_{i+2}(T=20), Q_{i+3}(T=20), \dots, Q_{i+r}(T=20)$ 을 제어할 수 있고, 더욱이, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q 를 제어할 수 있게 된다.
- <103> 이 때, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 상류측의 프로세스 가스원과 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 하류측의 진공조의 압력 조건이 안정한 경우에는, $(i+1)$ 회째로부터 $(i+r)$ 회째까지의 각 펄스 샷에서, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 가스의 체적 유량 $Q_{i+1}(T=20), \dots, Q_{i+r}(T=20)$ 의 값은 같게 된다.
- <104> 여기서, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 상류측의 프로세스 가스원과 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 하류측의 진공조의 압력 조건이 안정한 경우에는, $(i+1)$ 회째 이후의 각 펄스 샷의 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간 $t_{i+1}, t_{i+2}, t_{i+3}, \dots, t_{i+r}$ 을 일률적으로 같은 값으로 변화시키면, $(i+1)$ 회째 이후의 각 펄스 샷의 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 배출 후 압력 $P_{i+1redu}, P_{i+2redu}, P_{i+3redu}, \dots, P_{i+redu}$ (미도시)가 일률적으로 같은 값으로 변화하고, $(i+1)$ 회째 이후의 각 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 $Q_{i+1}(T=20), Q_{i+2}(T=20), Q_{i+3}(T=20), \dots, Q_{i+r}(T=20), \dots$ 도 일률적으로 같은 값으로 변하기 때문에, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q 를 비교적 용이하게 제어할 수 있게 된다.
- <105> 다음, 도1의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1을 실시하는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법의 일예에 관하여, 도5에 기초하여 설명하기로 한다. 도5에 도시한 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 제어기19에 의해 행해지는 피드백 제어이다. 즉, 우선, S10에서, 단위 시간당, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q 가, '유량 지령값'으로서 입력된다. 한편, S11에서는, 현재의, 단위 시간당, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량 Q 가, '계산 유량값'으로서 취득된다. 그리고, S12에서, '유량 지령값'과 '계산 유량값'의 차이로부터 이루어진 제어 편차를 구한다.
- <106> 다음, S13에서, S12에서 구한 제어 편차를 '0'으로 하기 위하여, 상기한 식(1)' ~ 식(5)', 식(6)', 식(6)''에 기초하여, 각 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)의 소정 주기를 변경하거나, 각 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을

행하는 것)에서의 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간을 변경하는가를 결정하고, 그 결정 내용을, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 제어기19에 내장된 제어 회로로 전달한다. 여기에서, 각 펄스 샷의 소정 주기를 변경하도록 결정한 경우, S14를 향하고, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 제어기19에 내장된 기본 펄스 출력 회로를 통하여, 각 펄스 샷의 소정 주기를 변경한다. 한편, 각 펄스 샷의 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간을 변경하는 경우에는, S15를 향하여, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 제어기19에 내장된 듀티비 가변 회로를 통하여, 각 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간을 변경한다.

- <107> 그 후, S16에서, 압력 센서14에서 측정된 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 충전 후 압력을 P_{fill} , 가스 충전 용적의 배출 후 압력 P_{redu} 에 기초하고, 또한, 온도 센서15에서 측정된 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 온도 T에 기초하며, 상술한 식(1)' ~ 식(5)', 식(6)', 식(6)'' 등에 의해, 단위 시간당, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 산출하고, S11에서의 '계산 유량값'으로 한다.
- <108> 이것에 의해, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서는, 단위 시간당, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q에 관하여, 피드백 제어하는 것이 가능하게 되나, 조건에 따라, 예를 들면, 도6에 도시한 바와 같이, 불감대가 존재하는 것도 있다.
- <109> 이 때, 도6의 '듀티비'는, 제2 차단 밸브에서, 당해 열림 동작으로부터 다음 회의 열림 동작까지의 시간 간격에 대한 당해 열림 동작의 지속 시간의 비율(%)을 말한다.
- <110> 이상, 상세하게 설명한 바와 같이, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1과, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1로 실시되는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서, 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)을 반복함과 동시에, 압력 센서14에서 측정된 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 충전 후 압력을 P_{fill} ·배출 후 압력 P_{redu} 등에 기초하고, 상기한 식(1)' ~ 식(5)' 등에 의해, 단위 시간당, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 산출하고(S16), 또한, 펄스 샷의 태양(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)을 변화시키는 것에 의해(S14, S15), 결국, 펄스 샷 타입이라고 불리는 새로운 방식을 이용하는 것에 의해, 단위 시간당, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 조정한다.
- <111> 따라서, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1과, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1로 실시되는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서, 도1에 도시한 바와 같이, (1) 프로세스 가스의 난류에 영향이 없고, 프로세스 가스의 난류를 강제적으로 억제하는 층류관 등고 같은 장치가 필요 없으며, (2) 세관 등의 측정 장치를 프로세스 가스의 유로에 개재시킬 필요가 없으며, (3) 프로세스 가스의 압력이 제한될 필요가 없고, 조정기 등의 장치가 불필요하며, 구성팩이 간단하게 되는 등, 종래의 제약으로부터 해방될 수 있다.
- <112> 또한, 반도체 제조 장치에서는, 부식성 가스가 사용되고, 가스 치환이 행해지며, 가스 유로의 전환 등에 차단 밸브를 사용하는 경우가 많기 때문에, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1과, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1로 실시되는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법은, 도1에 도시한 바와 같이, 반도체 제조 장치에 사용될 수 있기 때문에, (4) 세관 등의 측정 장치를 사용하지 않기 때문에, 부식에 의한 클로킹 등의 이상이 발생되지 않고, (5) 불감 부피가 없기 때문에, 가스 치환을 확실하게 행할 수 있고, (6) 제1 차단 밸브12와 제2 차단 밸브17을 가스 유로의 전환 등에 유용하는 것에 의해, 가스 유로의 전환 등에 사용하기 위한 차단 밸브를 줄일 수 있다.
- <113> 여기서, 본 출원인에 의한 실험을 통하여, 충전·배출 사이클의 주기가 1초를 하회하도록 높은 빈도의 펄스 샷을 행한 때에, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 압력 파형은, 도8에 도시한 바와 같다는 것에 착안하였다. 즉, 이와 같은 높은 빈도의 펄스 샷을 행하면, 충전시에는 단일 압축에 의해 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 온도 상승13의 프로세스 가스의 온도 하강이 발생한다. 이 때문에, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 압력 파형은, 도8에 도시한 바와 같다.
- <114> 이것은, 충전시·배출시에서 각각의 온도 변화가 발생한 후, 가스 충전 용적13에서 열 교환이 일어나기 때문이다. 그리고, 충전·배출 사이클의 주기가 짧게 되면, 충전·배출 후의 봉지 상태에서도 열교환이 연속되고, 온도, 압력도 동시에 연속 변화한다. 따라서, 그 사이에서 압력의 측정을 행하여도 의미가 없고, 열교환이 완료, 혹은 정밀도에 문제가 없는 온도까지 돌아온 후에 압력을 측정하고, 유량 계산에 사용할 필요가 있다.
- <115> 그렇지만, 여기에는 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우에는, 높은 정밀도의 유량 측정이 행해질 수 없다. 이 문제를 해결하기 위하여, 온도 변화를 고려하고, 일정한 타이밍에서 압력을 측정하며, 수정 계수를 곱하여 사용하는 방법도 있으나, 단일 압축·팽창에 의한 온도 변화는, 가스 종류의 고유의 비열비와 충전·배출 전후의 압

력비에 따라 결정하기 때문에 일정하지 않고, 사전에 필요한 조건에서 유량 검정에 의해, 수정 계수를 구하여 두어야 하므로 실용성이 없다.

<116> 그리고, 본 발명의 펄스 샷 방식에 있어서도, 유량이 변화하면, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 평균 온도가 변화한다. 이것은, 일정 유량 발생시에는, 배출시의 단열 팽창에 다른 온도 하강한 프로세스 가스가 밀봉시에 가스 충전 용적13에 의해 가열되고, 이것이 다시 충전에 의한 단열 압축을 가스 충전 용적13 내에서 받기 때문에, 단열 팽창전보다 온도 상승을 일으킨다. 이 상승분의 온도와 가스 충전 용적13, 그 외기(外氣), 및 주변 장치와의 사이에, 평형 상태가 되는 온도까지 변화한다. 그리고, 단열 팽창에 의한 온도 저하의 정도는, 유량에 따라 다르기 때문에, 평형 상태 온도도 변한다.

<117> 이 때문에, 이 온도 상승분의 정밀도 열화를 허용하거나, 혹은, 이 온도 상승분이 영향이 없는 온도까지 회복하는 것을 기다릴 필요가 있으나, 여기서는 낮은 빈도의 펄스 샷밖에 행해지지 않을 수 없고, 역시 실용적이지 못하다.

<118> 여기에서, 온도 센서15의 측정값을 이용하는 것이 고려된다. 기체의 상태 방정식으로부터 보면, 가스 충전 용적13의 충전·배출 후의 밀봉 상태에서, 임의의 시점에서의 순간적인 압력과 온도를 측정하는 것이 가능하면, 상태 방정식화하는 것이 가능하고, 그 시점에서의 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 몰수를 측정하는 것이 가능하며, 더욱이 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 산출하는 것이 가능하기 때문이다.

<119> 즉, 충전 후의 가스 충전 용적 내의 프로세스 가스의 상태 방정식은,

<120>
$$P_{fill} * V = n_{fill} * R * T_{fill}$$

<121> 이 되기 때문에, 충전 후의 가스 충전 용적 내의 프로세스 가스의 몰수는,

<122>
$$n_{fill} = (P_{fill} * V) / (R * T_{fill})$$
 이 된다.

<123> 또한, 'n_{fill}'은, 충전시의 가스 충전 용적 내의 프로세스 가스의 몰수이고, 'R'은 기체 정수이며, 'T_{fill}'은 충전 후 가스 충전 용적 내의 프로세스 가스의 온도이다.

<124> 한편, 배출 후 가스 충전 용적 내의 프로세스 가스의 상태 방정식은,

<125>
$$P_{redu} * V = n_{redu} * R * T_{redu}$$

<126> 이 되기 때문에, 배출 후의 가스 충전 용적 내의 프로세스 가스의 몰수는,

<127>
$$n_{redu} = (P_{redu} * V) / (R * T_{redu})$$
 이 된다.

<128> 또한, 'n_{redu}'은, 배출 후의 가스 충전 용적 내의 프로세스 가스의 몰수이고, 'T_{redu}'은 배출 후 가스 충전 용적 내의 프로세스 가스의 온도이다.

<129> 이것으로부터, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 몰수 n_{ex}는,

<130>
$$n_{ex} = n_{fill} - n_{redu}$$

<131>
$$= (P_{fill} * V) / (R * T_{fill}) - (P_{redu} * V) / (R * T_{redu})$$

<132>
$$= V/R (P_{fill} / T_{fill} - P_{redu} / T_{redu})$$

<133> 가 된다. 따라서, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 V_{ex}는,

<134>
$$V_{ex} = n_{ex} * R * 273.15 / 101.3$$

<135>
$$= 2.6962 * R * n_{ex}$$

<136>
$$= 2.6962 * V * (P_{fill} / T_{fill} - P_{redu} / T_{redu})$$

<137> 이 된다. 따라서, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q는,

<138>
$$Q = V_{ex} * r * 60$$

<139>
$$= 161.17 * r * V * (P_{fill} / T_{fill} - P_{redu} / T_{redu}) \dots \text{식(7)}$$

<140> 이 된다.

<141> 따라서, 가스 충전 용적13의 충전·배출 후의 밀봉 상태에서, 임의의 시점의 순간적인 압력과 온도를 측정하는 것이 가능하면, 식(7)에 의해, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 산출하는 것이 가능하게 된다.

<142> 따라서, 밀도가 낮은 가스 온도의 고속 측정은 매우 곤란하여 실용적이지 않다. 특히, 부식성이 있는 가스의 온도를 측정하기 위한 온도 센서는, 일반적으로, 내식성이 있는 금속, 수지, 혹은 세라믹 등으로 피복되어 있고, 열량이 크며, 빠른 응답성이 얻어지지 않는다. 또한, 극히 얇은 열전대와 반도체 실리콘제 온도 센서는, 빠른 응답성이 얻어지나, 부식성 가스의 온도 측정이 불가능하다. 이와 같이, 현재로는, 고속의 단열 압축·팽창에 따른 온도 변화를 실시간으로 측정할 수 있는 내식성 온도 센서는 존재하지 않는다. 결국, 온도 센서15에 의해 가스 충전 용적13 내의 프로세스 가스의 온도 변화를 실시간으로 측정하는 현상에서는 불가능하기 때문이다.

<143> 이것에 대하여, 압력 측정에서는, 1초 이하의 응답성에서 측정이 가능하다. 여기서, 본 실시 형태에 따른 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1과 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1로 실시되는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서는, 온도 변화에 비례하는 압력 변화를 측정하는 것에 의해, 높은 정밀도의 유량이 측정이 가능하다.

<144> 우선, 충전 후의 봉지 상태에서, 압력 값과 압력 변화율로부터, 열평형 상태의 압력을 추정한다. 예를 들면, 압력 변화 커브의 접선을 일정 시간 간격으로 측정한 압력값으로부터 구하고, 사전에 구한 시간 정수 후의 압력을 연산하고, 이를 충전 후의 열평형시의 압력으로 한다.

<145> 유사하게, 배출 후의 봉지 상태에서, 압력값과 압력 변화율로부터, 열평형 상태의 압력을 추정한다. 예를 들면, 압력 변화 커브의 접선을 일정 시간 간격으로 측정한 압력값으로부터 구하고, 사전에 구한 시간 정수 후의 압력을 연산하고, 이를 배출 후의 열평형시의 압력으로 한다.

<146> 또한, 밀봉시의 압력 변화는 단순한 1차 응답과 한정되지 않기 때문에, 열평형 상태의 압력은, 가스 종류, 1차 압력, 배출에 따른 압력 강하 등에 의해, 적절한 시간 정수를 교체하여 사용하고 연산하는 것이다.

<147> 그리고, 이와 같이 하여 연산된 충전·배출 각각의 압력(충전 후 추정 압력, 배출 후 추정 압력)을 충전 후 압력 P_{fill} , 가스 충전 용적의 배출 압력 P_{redu} 로 하고, 또한, 온도 센서15로부터 구한 평균 온도를 평균 온도로 하여, 식(7)에 의해, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 산출한다.

<148> 여기에서, 상기 고려 사항에 기초하여, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 제어기19에서 실행되는 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 산출하는 방법에 관하여 설명한다. 우선, 시간 정수를 구하는 방법에 관하여, 도9 및 도10을 이용하여 설명한다. 또한, 여기의 압력 변화는, 일차 응답으로부터 나온 것이기 때문에, 정확한 의미로의 시간 정수가 아니지만, 개념적으로 가깝기 때문에 편의상 '시간 정수'라고 사용한다.

<149> 우선은, 가스 충전 용적13에 대한 프로세스 가스의 충전시의 시간 정수를 구하는 경우에 관하여, 도9를 참조하면서 설명한다. 최초로, 제1 차단 밸브12의 닫힘 시점을 t_0 (시간의 기준점으로 한다)으로 하고, 제1 차단 밸브12의 응답 지연 시간(약 1msec)에 여유를 고려하여, 확실하게, 제1 차단 밸브의 폐지 후의 압력 변화를 검출하는 것이 가능한 t_1 이 경과한 후(예를 들면, 3msec 경과후, $t_1 = 3\text{msec}$)에, 1회째의 압력 측정을 압력 센서14에 의해 행한다. 이 때의 측정값을 (t_1, p_1)으로 표시한다. 또한 일정 시간이 경과한 후(예를 들면, 1msec 경과 후, $t_2 = 4\text{msec}$)에, 2회째의 압력 측정을 압력 센서14에 의해 행한다. 이 때의 측정값을 (t_2, p_2)으로 표시한다. 그 후, 또 일정 시간이 경과한 후(예를 들면, 1msec 경과 후, $t_3 = 5\text{msec}$)에, 3회째의 압력 측정을 압력 센서14에 의해 행한다. 이 때의 측정값을 (t_3, p_3)으로 표시한다.

<150> 또한, 압력 측정의 시간 간격은, 동일시간일 필요는 없으나, 고정된 시간일 필요가 있다. 또한, 각 측정점의 압력은, 노이즈 등의 영향을 받기 어렵게 하기 위하여, 복수회의 측정(예를 들면, 10 μsec 마다 8회 측정)을 하여, 그 평균값을 사용하여도 좋다.

<151> 또한, 충분한 시간이 경과한 후(예를 들면, 1sec 경과후, $t_4 = 1005\text{msec}$)에, 4회째의 압력 측정을 압력 센서14에 의해 행한다. 이 때의 측정값을 (t_4, p_4)로 표시한다.

<152> 그리고, 상기 측정 결과로부터 충전시의 압력 변화의 시간 정수 ΔT_s 를 구한다. 여기에서, 일 예로서, t_2 시점의 시간 정수를 구한다. 우선, (t_1, p_1), (t_2, p_2), (t_3, p_3), (t_4, p_4)로부터, (t_2, p_2)를 통하는 접선L의

식을 다음 식에 의해 구한다.

<153> 접선L: $P = (p_3 - p_1) / (t_3 - t_1) * (t - t_2) + p_2 \dots$ 식(8)

<154> 또한, 여기에서 간이한 방법으로 접선L의 식을 구하고 있으나, 이 이외에도 예를 들면, 최소이승법을 사용하여 접선L의 식을 구하여도 좋다.

<155> 이어서, 접선L이 p4와 일치하는 시간을 구하고, 이로부터 t2를 뺀다. 그 결과로서 산출된 것이, t2 시점의 시간 정수 ΔTs 가 된다. 식으로 나타내면 다음과 같다.

<156> $\Delta Ts = (p_4 - p_2) * (t_3 - t_1) / (p_3 - p_1) - t_2$

<157> 또한, 도9 중에 도시한 $\Delta P (=p_4 - p_2)$ 는, p2로부터 평균 온도의 압력p4까지의 압력 강하분이며, 이는 그 대로 온도 저하량을 반영하고 있다.

<158> 다음, 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 배출시의 시간 정수를 구하는 경우에 관하여, 도10을 참조하면서 설명한다. 최초로, 제2 차단 밸브17의 닫힘 시점을 t0'(시간의 기준점으로 한다)으로 하고, 제2 차단 밸브17의 응답 지연 시간(약 1msec)에 여유를 고려하여, 확실하게, 제2 차단 밸브17의 폐지 후의 압력 변화를 검출하는 것이 가능한 t1'이 경과한 후(예를 들면, 3msec 경과후, t1' = 3msec)에, 1회째의 압력 측정을 압력 센서14에 의해 행한다. 이 때의 측정값을 (t1', p1')로 표시한다. 또한 일정 시간이 경과한 후(예를 들면, 1msec 경과 후, t2' = 4msec)에, 2회째의 압력 측정을 압력 센서14에 의해 행한다. 이 때의 측정값을 (t2', p2')으로 표시한다. 그 후, 또 일정 시간이 경과한 후(예를 들면, 1msec 경과 후, t3' = 5msec)에, 3회째의 압력 측정을 압력 센서14에 의해 행한다. 이 때의 측정값을 (t3', p3')으로 표시한다.

<159> 또한, 압력 측정의 시간 간격은, 동일시간일 필요는 없으나, 고정된 시간일 필요가 있다. 또한, 각 측정점의 압력은, 노이즈 등의 영향을 받기 어렵게 하기 위하여, 복수회의 측정(예를 들면, 10 μ sec 마다 8회 측정)을 하여, 그 평균값을 사용하여도 좋다.

<160> 또한, 충분한 시간이 경과한 후(예를 들면, 1sec 경과후, t4' = 1005msec)에, 4회째의 압력 측정을 압력 센서14에 의해 행한다. 이 때의 측정값을 (t4', p4')로 표시한다.

<161> 그리고, 상기 측정 결과로부터 충전시의 압력 변화의 시간 정수 ΔTe 를 구한다. 여기에서, 일 예로서, t2' 시점의 시간 정수를 구한다. 우선, (t1', p1'), (t2', p2'), (t3', p3'), (t4', p4')로부터, (t2', p2')를 통하는 접선L'의 식을 다음 식에 의해 구한다.

<162> 접선L': $P = (p_3' - p_1') / (t_3' - t_1') * (t - t_2') + p_2' \dots$ 식(9)

<163> 또한, 여기에서 간이한 방법으로 접선L'의 식을 구하고 있으나, 이 이외에도 예를 들면, 최소이승법을 사용하여 접선L'의 식을 구하여도 좋다.

<164> 이어서, 접선L'이 p4'와 일치하는 시간을 구하고, 이로부터 t2'를 뺀다. 그 결과로서 산출된 것이, t2' 시점의 시간 정수 ΔTs 가 된다. 식으로 나타내면 다음과 같다.

<165> $\Delta Ts = (p_4' - p_2') * (t_3' - t_1') / (p_3' - p_1') - t_2'$

<166> 또한, 도10 중에 도시한 $\Delta P' (=p_4' - p_2')$ 는, p2'로부터 평균 온도의 압력p4'까지의 압력 강하분이며, 이는 그 대로 온도 저하량을 반영하고 있다.

<167> 그리고, 상기와 같이 산출된 시간 정수 ΔP , $\Delta P'$ 를 이용하여, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 산출한다. 이 산출 방법에 관하여, 도10을 참조하면서 설명하기로 한다. 또한, 프로세스 가스의 체적 유량Q의 산출도 제어기19에 의해 행한다.

<168> 프로세스 가스의 체적 유량Q는, 펄스 샷 1주기마다 다음 연산을 행하는 것에 의해 산출한다. 우선, 제1 차단 밸브12를 열고, 가스 충전 용적13에 대하여 규정 시간의 프로세스 가스의 충진을 한다. 그리고, 제1 차단 밸브를 닫은 시점으로부터 규정 시간t1이 경과한 후, 압력 센서14에 의해 압력p1을 측정한다. 유사하게, 제1 차단 밸브를 닫은 시점으로부터 규정 시간t2가 경과한 후, 압력 센서14에 의해 압력p2를 측정한다. 또한, 제1 차단 밸브를 닫은 시점으로부터 규정 시간t3이 경과한 후, 압력 센서14에 의해 압력p3을 측정한다. 그리고, 이 3곳에서의 시간과 압력의 조합으로부터, (t2, p2)를 통하는 접선L의 식을 식(8)에 의해 구한다.

<169> 그리고, 이미 알고 있는 시간 정수 ΔTs 후의 압력Ps를 다음 식에 의해 구하고, 이를 충전 후의 안정 압력(충진

후 추정 압력)Ps로 한다.

- <170> $Ps = (p3 - p1) / (t3 - t1) * \Delta Ts + p2$
- <171> 그 후, 조정된 소정 시간이 경과한 후, 제2 차단 밸브17을 열고 프로세스 가스의 배기를 행한 후, 제2 차단 밸브17을 닫는다. 그리고, 제2 차단 밸브17을 닫은 시점으로부터 규정 시간t1'이 경과한 후, 압력 센서14에 의해 압력p1'을 측정한다. 유사하게, 제2 차단 밸브17을 닫은 시점으로부터 규정 시간t2'가 경과한 후, 압력 센서14에 의해 압력p2'를 측정한다. 또한, 제2 차단 밸브17을 닫은 시점으로부터 규정 시간t3'이 경과한 후, 압력 센서14에 의해 압력p3'을 측정한다. 그리고, 이 3곳에서의 시간과 압력의 조합으로부터, (t2', p2')를 통하는 접선L'의 식을 식(9)에 의해 구한다.
- <172> 그리고, 이미 알고 있는 시간 정수 ΔTe 후의 압력Pe를 다음 식에 의해 구하고, 이를 배출 후의 안정 압력(배출 후 추정 압력)Pe로 한다.
- <173> $Pe = (p3' - p1') / (t3' - t1') * \Delta Te + p2'$
- <174> 이상과 같이 구한 Ps, Pe를 사용하여, 1사이클의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량 ΔQ 를 다음 식에 의해 구할 수 있다.
- <175> $\Delta Q = V (Ps - Pe) / T$
- <176> 또한, 'T'는, 가스 충전 용적13의 평균 온도(절대 온도)이다.
- <177> 여기에서, 안정시의 압력Ps, Pe를 추정하였으나, t2, t2' 시점에서의 온도T2, T2'를 추정하여, 1사이클의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 가스의 체적 유량 ΔQ 를 구할 수도 있다.
- <178> 즉, $T2 = T * p2 / Ps$, $T2' = T * p2' / Pe$ 이므로,
- <179> $\Delta Q = V (p2 / T2 - p2' / T2')$
- <180> 로 하여 유량 ΔQ 를 구할 수 있다.
- <181> 그리고, 상기와 같이 산출한 유량 ΔQ 에 기초하여, 제어기19에 의해 유량 조절이 행해진다. 구체적으로는, 유량 지령값으로부터 연산된 1사이클의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 가스의 체적 유량 ΔQ_0 에 대한 ΔQ 의 편차에 기초로, 다음 사이클의 펄스 샷에서 제2 차단 밸브17에 인가하는 펄스 폭을 적절히 증감시킨다. 결국, ΔQ 가 ΔQ_0 보다 적도록 하면, 펄스 폭을 증가시키고, ΔQ 가 ΔQ_0 보다 많도록 하면, 펄스 폭을 감소시킨다. 펄스 폭의 증감 방법으로서, 편차에 대하여 비례적으로 부여하는 비례 제어, 편차를 일정 비율로 가산하는 적분 제어, 및 급한 편차 변화에 대하여 큰 수정 동작을 부여하는 미분 제어 등을 적절히 조합하여도 좋다.
- <182> 이어서, 2종류의 가스(N₂와 Ar)를 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서 규정 유량(800 sccm) 흐르게 한 때, 제어기19에서 산출되는 체적 유량Q를 조사하기 때문에, 그 결과를 도13 ~ 도15에 도시한다. 또한, 도13은, 충전시에 산출되는 각종 데이터의 값을 나타낸 도이고, 도14는, 배출시에 산출되는 각종 데이터의 값을 나타낸 도이며, 도15는, 산출 결과를 나타낸 도이다. 또한, 이 때의 압력 파형을 도12에 도시한다.
- <183> 도12에 도시한 바와 같이, 가스 종류에 따라서 압력 변화의 비율이 다르다. 이것은, 가스 종류에 따라서 비열비가 다르기 때문이다. 그리고, 지금 사용한 N₂ 가스와 Ar 가스는, 비열비가 보다 큰 Ar 가스 쪽이 온도 변화가 크기 때문에, 압력 변화도 크다는 것을 알 수 있다.
- <184> 우선, N₂ 가스에 관하여는 체적 유량Q의 산출의 각종 데이터를 고찰한다. N₂ 가스의 충전시에는, 도13에 도시한 바와 같이, 가스 충전 용적13에 대하여 N₂ 가스를 충전하여 제1 차단 밸브12를 닫은 시각t0의 압력은, p1=350.39kPa이었다. 이것으로부터 3msec가 경과한 시각t1에서의 압력은, p1=350.22kPa이었다. 또한, 1msec가 경과한 시각t2에서의 압력은, p2=350.13kPa이었다. 또한, 1msec가 경과한 시각t3에서의 압력은, p3=349.97kPa이었다. 이와 같이, 제2 차단 밸브가 닫힌 후부터 서서히 가스 충전 용적13 내의 N₂ 가스의 압력이 하강하는 것을 알 수 있다. 그리고 계측된 압력에 기초하여, t2 시점에서의 시간 정수가 $\Delta Ts = 16msec$ 로 산출되고, 이 시간 정수 ΔTs 후의 압력이 Ps = 348.1kPa로 산출되었다.
- <185> 한편, N₂ 가스의 배출시에서는, 도14에 도시한 바와 같이, 제2 차단 밸브17을 열고 가스 충전 용적13으로부터 N₂ 가스를 배출한 후에 제2 차단 밸브17을 닫은 시각t0'의 압력은, p1'=288.08kPa이었다. 이것으로부터 4msec가

경과한 시각t1'에서의 압력은, $p1'=287.17\text{kPa}$ 이었다. 또한, 1msec가 경과한 시각t2'에서의 압력은, $p2'=287.39\text{kPa}$ 이었다. 또한, 1msec가 경과한 시각t3'에서의 압력은, $p3'=287.55\text{kPa}$ 이었다. 이와 같이, 제2 차단 밸브17을 닫은 후부터 서서히 가스 충전 용적13 내의 N_2 가스의 압력이 상승하는 것을 알 수 있다. 그리고 계측된 압력에 기초하여, t2' 시점에서의 시간 정수가 $\Delta\text{Te} = 50\text{msec}$ 로 산출되고, 이 시간 정수 ΔTe 후의 압력이 $\text{Pe} = 296.8\text{kPa}$ 로 산출되었다.

<186> 그리고, N_2 가스의 평균 온도는 $T = 300\text{K}$ 이고, 가스 충전 용적13의 체적은 $V = 1.75\text{cc}$ 이며, 펄스 주파수는 $r=16.67\text{Hz}$ 이므로, 도15에 도시한 바와 같이, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 체적 유량은, $Q=807.4\text{sccm}$ 으로 산출되었다. 그리고, 이 산출 결과의 오차는, 0.92%이며, 아주 작다. 즉, 매우 정밀하게 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 가스의 체적 유량Q가 산출된다.

<187> 다음, Ar 가스에 관하여는 체적 유량Q의 산출의 각종 데이터를 고찰한다. 도13에 도시한 바와 같이, 가스 충전 용적13에 대하여 Ar 가스를 충전하여 제1 차단 밸브12를 닫은 시각t0의 압력은, $p1=350.00\text{kPa}$ 이었다. 이것으로부터 3msec가 경과한 시각t1에서의 압력은, $p1=349.56\text{kPa}$ 이었다. 또한, 1msec가 경과한 시각t2에서의 압력은, $p2=349.41\text{kPa}$ 이었다. 또한, 1msec가 경과한 시각t3에서의 압력은, $p3=349.12\text{kPa}$ 이었다. 이와 같이, 제2 차단 밸브17이 닫힌 후부터 서서히 가스 충전 용적13 내의 Ar 가스의 압력이 하강하는 것을 알 수 있다. 그리고 계측된 압력에 기초하여, t2 시점에서의 시간 정수가 $\Delta\text{Ts} = 13\text{msec}$ 로 산출되고, 이 시간 정수 ΔTs 후의 압력이 $\text{Ps} = 346.6\text{kPa}$ 로 산출되었다.

<188> 한편, Ar 가스의 배출시에서는, 도14에 도시한 바와 같이, 제2 차단 밸브17을 열고 가스 충전 용적13으로부터 Ar 가스를 배출한 후에 제2 차단 밸브17를 닫은 시각t0'의 압력은, $p1'=281.98\text{kPa}$ 이었다. 이것으로부터 4msec가 경과한 시각t1'에서의 압력은, $p1'=282.01\text{kPa}$ 이었다. 또한, 1msec가 경과한 시각t2'에서의 압력은, $p2'=282.32\text{kPa}$ 이었다. 또한, 1msec가 경과한 시각t3'에서의 압력은, $p3'=282.66\text{kPa}$ 이었다. 이와 같이, 제2 차단 밸브17을 닫은 후부터 서서히 가스 충전 용적13 내의 Ar 가스의 압력이 상승하는 것을 알 수 있다. 그리고 계측된 압력에 기초하여, t2' 시점에서의 시간 정수가 $\Delta\text{Te} = 42\text{msec}$ 로 산출되고, 이 시간 정수 ΔTe 후의 압력이 $\text{Pe} = 296.1\text{kPa}$ 로 산출되었다.

<189> 그리고, Ar 가스의 평균 온도는 $T = 300\text{K}$ 이고, 가스 충전 용적13의 체적은 $V = 1.75\text{cc}$ 이며, 펄스 주파수는 $r=16.67\text{Hz}$ 이므로, 도15에 도시한 바와 같이, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 체적 유량은, $Q=794.0\text{sccm}$ 으로 산출되었다. 그리고, 이 산출 결과의 오차는, 0.75%이며, 아주 작다. 즉, 매우 정밀하게 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 가스의 체적 유량Q가 산출된다.

<190> 이상과 같이, 비열비가 다른 가스에서도, 매우 정밀도가 높게 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 체적 유량Q를 산출할 수 있다.

<191> 여기에서, 상기 조건에서, 단일 압축·팽창에 따른 온도 변화를 고려하지 않고, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 체적 유량Q를 산출한 결과, 결국 식(1)' ~ 식(5)' 등을 이용하여 체적 유량Q를 산출한 결과를 도16에 도시하였다. 이 경우에는, N_2 가스는 충전 후 압력이 $P_{\text{fill}} = 349.52\text{kPa}$ 로 계측되고, 배출 후 압력이 $P_{\text{redu}} = 288.52\text{kPa}$ 로 계측되었기 때문에, 압력 차이가 61.00kPa 이 되고, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 체적 유량은, $Q = 959\text{sccm}$ 으로 산출되었다. 이 산출 결과의 오차는 12%이다.

<192> 또한 Ar 가스는 충전 후 압력이 $P_{\text{fill}} = 348.34\text{kPa}$ 로 계측되고, 배출 후 압력이 $P_{\text{redu}} = 284.23\text{kPa}$ 로 계측되었기 때문에, 압력 차이가 64.11kPa 이 되고, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 체적 유량은, $Q = 1008\text{sccm}$ 으로 산출되었다. 이 산출 결과의 오차는 12.6%이다.

<193> 이와 같은 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우, 단일 압축·팽창에 따른 온도 변화를 고려하지 않으면, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 체적 유량Q를 정밀도 좋게 산출할 수 없다. 또한, 비열비가 큰 가스에 대하여 산출 오차가 크게 되고 만다.

<194> 이상에서 상세하게 설명한 바와 같이, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우, 단일 압축·팽창에 따른 온도 변화를 고려하는 것에 의해, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 체적 유량Q의 오차를 10%이상 작게 할 수 있다. 즉, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우에도, 단일 압축·팽창에 따른 온도 변화의 영향을 받기 어렵고 매우 높은 정밀도의 유량 조정을 할 수 있다.

- <195> 그리고, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 것이 가능한 것에 의해, 이하의 효과를 얻을 수 있다. 즉, 맥동의 변화 간격을 보다 짧게 하는 것이 가능하고, 맥동에 의한 압력 변화·유량 변화를 보다 작게 하는 것이 가능하다. 또한 보다 작은 가스 충전 용적에서 낮은 빈도의 펄스 샷의 때와 같은 유량을 확보할 수 있다. 또한, 같은 가스 충전 용적이면, 보다 큰 유량을 확보할 수 있다. 또한, 단일 변화에 의한 온도 변화의 정도(비열비)가 다른 다양한 가스에 대하여, 보다 정밀도가 높게 유량 조절을 할 수 있다.
- <196> 이 때, 본 발명은 상기 실시 형태에 한정되지 않으며, 그 취지를 일탈하지 않는 범위 내에서 다양한 변화가 가능하다.
- <197> 예를 들면, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1과, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1로 실시되는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서는, 단위 시간당, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 산출하는 때에 (S16), 온도 센서15에서 측정된 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 온도에 기초하여, 상술한 식(6)', (6)'' 등에 의해, 20℃ 환산한다. 프로세스 가스의 온도 팽창을 무시하는 것이 허용되는 때에는, 20℃ 환산을 생략하여도 좋다.
- <198> 또한, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1과, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1로 실시되는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서는, S15에서, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1의 제어기19에 내장된 듀티비 가변 회로를 통하여, 각 펄스 샷에서의 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간을 변경시키는 것이나, 각 펄스 샷에서의 제1 차단 밸브12의 열림 동작 지속 시간을 변경시키는 경우에도, 각 펄스 샷의 가스 충전 용적13의 프로세스 가스의 충전 후 압력을 P_{fill} ·배출 후 압력 P_{redu} 가 변화하기 때문에, 단위 시간당, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량Q를 조정하는 것이 가능하다.
- <199> 또한, 프로세스 가스의 체적 유량Q의 조절을 위해서가 아닌, 가스 충전 용적13으로의 공급 압력 제한을 위하여, 제1 차단 밸브12의 열림 동작 지속 시간을 변경하여도 좋다. 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1과, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1로 실시되는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서는, 가스 충전 용적13으로의 프로세스 가스 충진을 위하여, 제1 차단 밸브를 연 때에 가스 충전 용적13으로의 충전 압력 상태를 압력 센서14에서 감시하는 것이 가능하기 때문에, 소정의 제한 압력에 도달한 시점에서, 제1 차단 밸브12를 닫을 수 있다. 이것에 의해, 프로세스 가스원으로부터 압력 센서14의 내압을 초과한 압력의 가스가 공급되더라도, 압력 센서14의 내압을 초과하지 않도록 제1 차단 밸브12를 닫을 수 있다. 또한, 실제로는, 압력의 상승 커브와 제1 차단 밸브12의 닫힘 시간 응답성으로부터 어느 정도의 여유를 두고 빨리 제1 차단 밸브를 닫게 된다. 상기의 작용은, 압력을 제한하는 조정기11의 작용과 동일하기 때문에, 조정기11을 필요로 하지 않을 수 있다.
- <200> 이것에 의해, 실질적으로, 1순차(가스 충전 용적13의 상류측)의 압력의 상승은, 제1 차단 밸브12의 내압력이 되거나, 내압이 낮은 압력 센서를 사용할 수 있다. 그리고, 내압이 낮은 압력 센서는, 내압이 큰 압력 센서에 비해 상대적으로 보다 높은 분해능을 가지고 있기 때문에, 정밀도가 높은 유량 측정을 할 수 있다. 또한, 조정기 11이 필요하지 않기 때문에, 프로세스 가스의 공급 압력이 낮은 경우에도, 조정기11에서 발생하는 압력 손실이 없게 되고, 보다 정밀도가 높은 유량 측정을 할 수 있다.
- <201> 또한, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1과, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1로 실시되는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서는, S13에서, 각 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)의 소정 주기를 변경하는지, 각 펄스 샷(제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 것)에서 제2 차단 밸브17의 열림 동작 지속 시간을 변경하는가를 결정하였으나, 양자를 동시에 행하도록 결정하여도, S12에서 구한 제어 편차를 '0'으로 하는 것이 가능하다.
- <202> 또한, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1과, 펄스 샷 타입 유량 조정 장치1로 실시되는 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서는, 도7에 도시한 바와 같이, 제2 차단 밸브17의 상류측에 노즐16을 설치하면, 각 펄스 샷의 가스 충전 용적13의 프로세스 가스(의 압력 파형)를 보다 안정시키는 것이 가능하고, 또한, 제2 차단 밸브17의 하류측에 필터18을 설치하면, 제2 차단 밸브17로부터 배출되는 프로세스 가스(의 압력 파형)를 보다 안정시키는 것이 가능하다.
- <203> 또한, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우에 필요하게 되는 시간 정수 ΔT_s , ΔT_e 를, 이하에서 상술하는 학습 작동을 시행시켜 자동적으로 구하도록 하여도 좋다. 즉, 우선, 미지의 필요 가스를 공급하고, 제1 차단 밸브12를 열고, 제2 차단 밸브17을 닫고 충전 상태로 한다. 다음, 제1 차단 밸브12, 제2 차단 밸브17을 함께 닫고 가스 충전 용적13을 밀봉 상태로 하여, 열평형 상태가 될 때까지 충분히 방치한다. 그리고, 제2 차단 밸브17을 단시간만 열고, 제어 유량에 상당하는 압력 강하를 발생시킨 후, 다시 제2 차단 밸브17을 닫고, 압력 값과 압력

변화율을 측정하고, 압력 변화 커브의 접선을 구한다. 다음, 온도 평형 상태까지 충분히 방치하고, 다시, 평형 상태에서의 압력(접근선)을 측정한다. 그리고, 상기 접선과 접근선으로부터, 그 제어 유량시의 시간 정수를 구한다. 필요에 따라, 여기까지의 처리를 여러 번 반복하여, 평균값을 산출하여 이를 시간 정수로 하여도 좋다. 그 후, 충전시와 배출시의 각각에 관하여 제어 유량 전반에 대해 여러 점에서 측정을 한다. 그리고, 여기에서 얻어진 데이터를 기초로 하여, 필요한 제어 유량인 시간 정수를 보완하여 자동적으로 구한다.

- <204> 이렇게 하는 것에 의해, 임의의 미지의 가스에 관하여도, 그 물리적 성질을 모르더라도, 필요한 시간 정수를 구하는 것이 가능하기 때문에, 높은 정밀도로 유량 측정을 하는 것이 가능하다.
- <205> 여기에서, 가스의 물리적 특성(점성, 비열비 등)에 의해, 가스 종류가 다르면 동일한 차단 밸브(오리피스)에 대하여, 유동성이 10배 이상 다르게 되고, 유동이 어려운 가스용에 제1 차단 밸브12 및 제2 차단 밸브를 설치하면, 유동하기 쉬운 가스의 유량 제어의 정밀도가 1/10으로 악화된다. 예를 들면, 유동하기 어려운 가스(C₃F₄)가 제2 차단 밸브17의 열림 시간 동안 25msec(무용 시간 5msec를 포함, 비례대는 20msec)에서 1SLM의 유량을 발생시키도록 제2 차단 밸브17(오리피스)을 설치하면, 유동하기 쉬운 가스(He)는, 제2 차단 밸브17의 열림 시간 동안 7msec에서 1SLM의 유량을 발생시키게 되고, 비례대로서 2msec 정도밖에 없고, 제어 분해능이 10배로 악화되며, 특히 소유량시의 제어성을 악화시킨다. 또한, 결과적으로 사용되지 않는 밸브 열림 시간 23msec가 무용하게 되고 만다.
- <206> 한편, 가스 고유의 특성·비열비 등에 따라서, 적절한 제2 차단 밸브17의 열림 시간을 설정하면, 사용하는 가스 종류마다 제2 차단 밸브17의 열림 시간을 설정을 변경할 필요가 있어 불편하다.
- <207> 여기서, 제2 차단 밸브에, 전류값에 비례한 열림 정도(유량 특성)가 얻어지는 비례 밸브를 사용하도록 하여도 좋다. 즉, 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을, 단순한 개폐 제어가 아닌, 임의 열림 정도(유량 특성·오리피스)로의 개폐를 가능하게 한다. 그리고, 필요 최대 유량에 상당하는 압력 강하를 발생시키는데 필요한 제2 차단 밸브17의 열림 시간이 거의 제2 차단 밸브17의 열림 시간의 최대값(제어 여유·안정도를 남긴 최대값)이 되도록, 제2 차단 밸브의 열림 정도(전류)를 바꾸어 적절한 열림 정도(전류)를 구하여 기록하여 두면 좋다. 예를 들면, 제2 차단 밸브17용으로서 30msec의 제어 시간이 25msec에서 최대 전류 상당의 압력 강하가 되도록, 제2 차단 밸브17의 열림 정도(전류)를 구하게 된다.
- <208> 이와 같이 하는 것에 의해, 임의의 가스의 공급에 대하여, 학습에 의해 제2 차단 밸브17에서 적절한 열림 정도가 설정되기 때문에, 유량에 따른 적절한 제2 차단 밸브17의 열림 시간이 확보된다. 따라서, 최대 유량에서는, 할당된 제어 시간의 대부분이 열림 시간이 되고, 소유량에서도, 필요한 분해능을 확보할 수 있는 열림 시간이 된다. 따라서, 다른 가스 종류, 미지의 가스 종류에 대하여, 적절한 제2 차단 밸브17의 열림 시간을 확보할 수 있는 제어성을 악화시키지 않는다. 따라서, 어느 가스 종류라도, 높은 정밀도로 유량 제어를 할 수 있다.

산업상 이용 가능성

- <209> 이상에서 상세히 설명한 바와 같이, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치 및 펄스 샷 타입 유량 조정 방법에서는, 펄스 샷 타입과 같은 새로운 방식을 이용하고, 제1 차단 밸브12의 개폐 동작을 행한 후에 제2 차단 밸브17의 개폐 동작을 행하는 펄스 샷을 반복하며, 압력 센서에서 측정된 가스 충전 용적의 충전 후 압력·배출 후 압력에 기초하여, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 산출하고, 또한, 펄스 샷의 태양을 변화시키는 것에 의해, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 가스의 체적 유량을 조정하기 때문에, (1) 가스의 난류에 영향이 없고, 가스의 난류를 강제적으로 억제하는 층류관 등이 필요 없으며, (2) 세관 등의 측정 장치를 가스의 유로에 개재시킬 필요가 없으며, (3) 가스의 압력이 제한될 필요가 없고, 조정기 등의 장치가 불필요하며, 구성이 간단하게 되는 등 종래의 제약을 해결할 수 있다.
- <210> 또한, 반도체 제조 장치에서는, 부식성 가스가 사용되고, 가스 치환이 행해지며, 가스 유로의 전환 등에 차단 밸브를 사용하는 경우가 많기 때문에, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치와 펄스 샷 타입 유량 조정 방법을 반도체 제조 장치에 사용하면, (4) 세관 등의 측정 장치를 사용하지 않기 때문에, 부식에 의한 클로킹 등의 이상이 발생되지 않고, (5) 불감 부피가 없기 때문에, 가스 치환을 확실하게 행할 수 있고, (6) 제1 차단 밸브와 제2 차단 밸브를 가스 유로의 전환 등에 사용하는 것에 의해, 가스 유로의 전환 등에 사용하기 위한 차단 밸브를 줄일 수 있다.
- <211> 또한, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우, 단일 압축·팽창에 따른 온도 변화를 고려하는 것에 의해, 매우 높은 정밀도로 유량 조정을 할 수 있다.

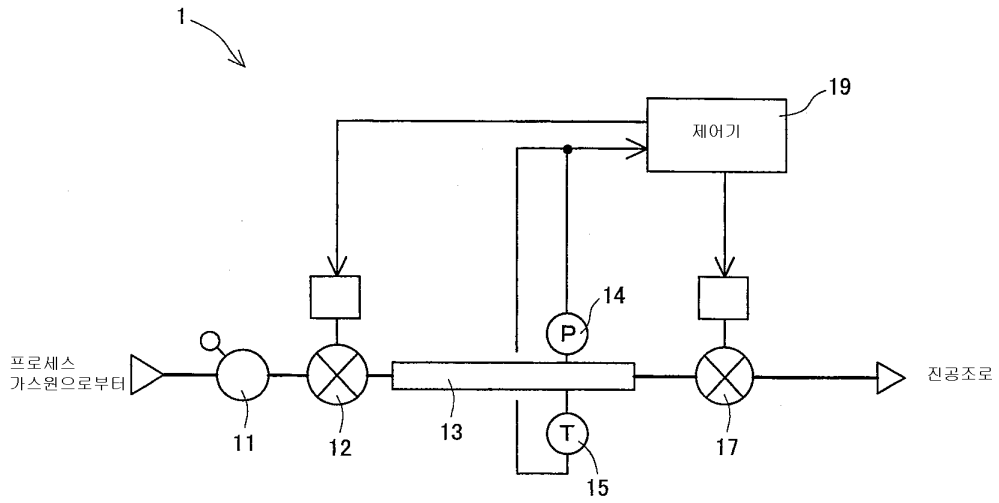
<212> 그리고, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 것이 가능하기 때문에, 이하의 효과가 얻어진다. 즉, 맥동의 변화 간격을 보다 짧게 하는 것이 가능하고, 맥동에 의한 압력 변화·유량 변화를 보다 작게 하는 것이 가능하다. 또한 보다 작은 가스 충전 용적에서 낮은 빈도의 펄스 샷의 때와 같은 유량을 확보할 수 있다. 또한, 같은 가스 충전 용적이면, 보다 큰 유량을 확보할 수 있다. 또한, 단일 변화에 의한 온도 변화의 정도(비열비)가 다른 다양한 가스에 대하여, 보다 정밀도가 높게 유량 조절을 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

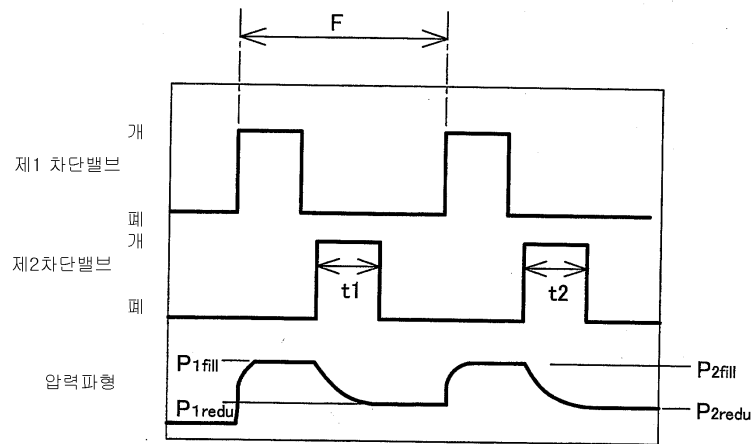
- <46> 도1은, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 개요를 나타낸 도이다.
- <47> 도2는, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 어느 조건 하에서의, 제1 차단 밸브와 제2 차단 밸브의 개폐 작동과 가스 충전 용적의 프로세스 가스의 압력 파형의 관계의 일예를 나타낸 도이다.
- <48> 도3은, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치에서, 어느 조건 하에서의, 1초간 가스 충전 용적의 프로세스 가스의 압력 파형의 관계의 일예를 나타낸 도이다.
- <49> 도4는, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치에서, 가스 충전 용적의 구성예를 나타낸 도이다.
- <50> 도5는, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 흐름도와 블록도를 겸한 도이다.
- <51> 도6은, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치에서, 어느 조건 하에서의, 제2 차단 밸브로부터 배출되는 프로세스 가스의 체적 유량과 제2 차단 밸브의 듀티비의 관계의 일예를 나타낸 도이다.
- <52> 도7은, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 개요를 나타낸 도이다.
- <53> 도8은, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우 제1 차단 밸브와 제2 차단 밸브의 개폐 작동과 가스 충전 용적의 프로세스 가스의 압력 파형의 관계의 일예를 나타낸 도이다.
- <54> 도9는, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우 충전시의 시간 정수의 산출 방법을 설명하기 위한 도이다.
- <55> 도10은, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우 배출시의 시간 정수의 산출 방법을 설명하기 위한 도이다.
- <56> 도11은, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하는 경우 충전후 추정 압력 및 배출 후 추정 압력의 산출 방법을 설명하기 위한 도이다.
- <57> 도12는, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행하고 N₂ 가스 및 Ar 가스를 흐르게 한 때 가스 충전 용적 내의 압력 파형을 나타낸 도이다.
- <58> 도13은, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행한 경우, 단일 변화에 따른 온도 변화를 고려하여 체적 유량Q를 산출하는 때에, 충전시에 산출되는 각종 데이터의 값을 나타낸 도이다.
- <59> 도14는, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행한 경우, 단일 변화에 따른 온도 변화를 고려하여 체적 유량Q를 산출하는 때에, 배출시에 산출되는 각종 데이터의 값을 나타낸 도이다.
- <60> 도15는, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행한 경우, 단일 변화에 따른 온도 변화를 고려하여 체적 유량Q를 산출하는 때에, 필요하게 되는 각종 데이터의 값을 나타낸 도이다.
- <61> 도16은, 본 발명의 펄스 샷 타입 유량 조정 장치의 펄스 샷에서, 높은 빈도의 펄스 샷을 행한 경우, 단일 변화에 따른 온도 변화를 고려하지 않고 체적 유량Q를 산출하는 때에, 필요하게 되는 각종 데이터의 값을 나타낸 도이다.

도면

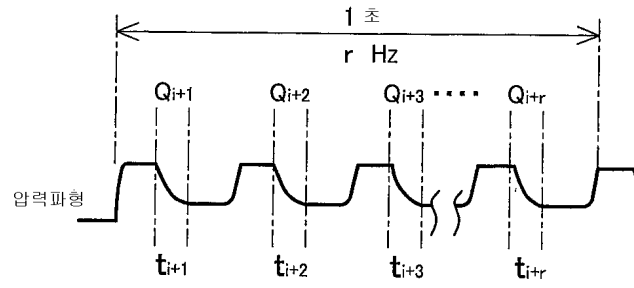
도면1



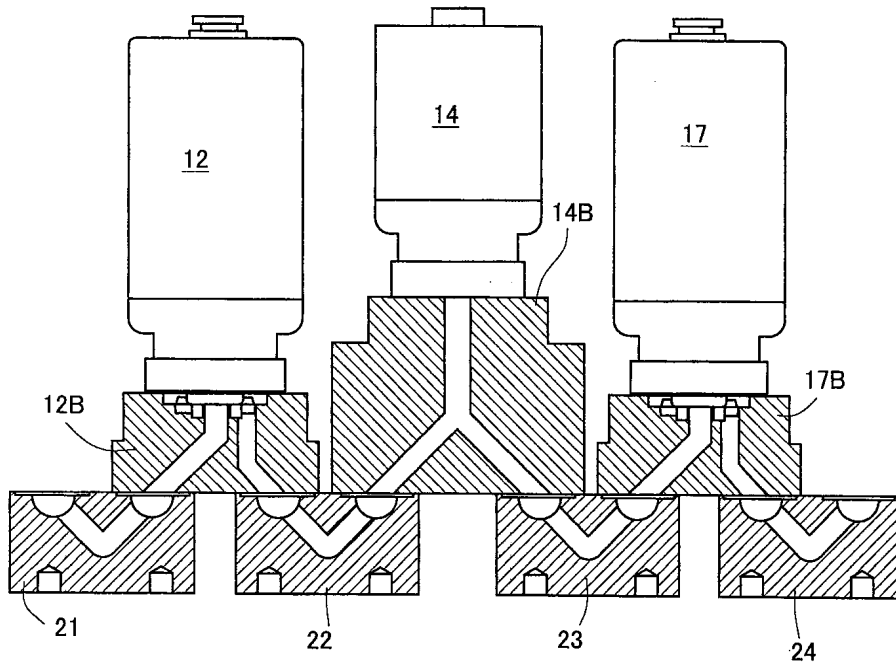
도면2



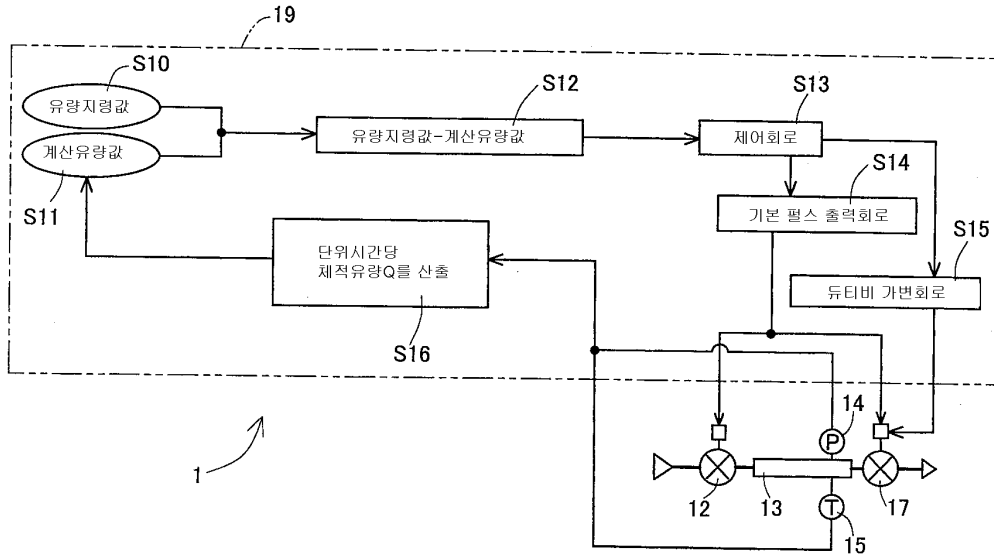
도면3



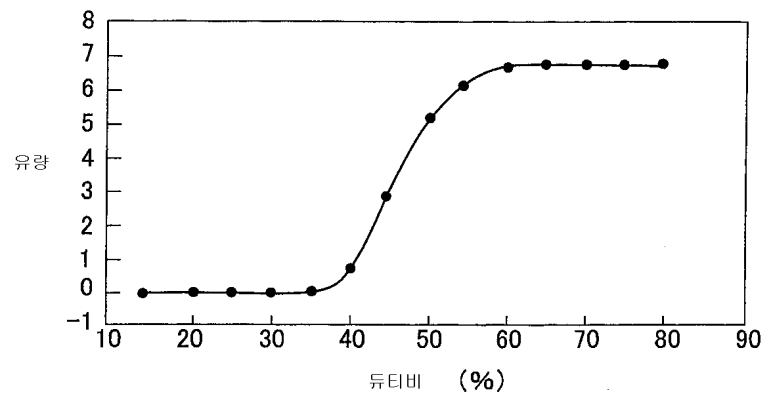
도면4



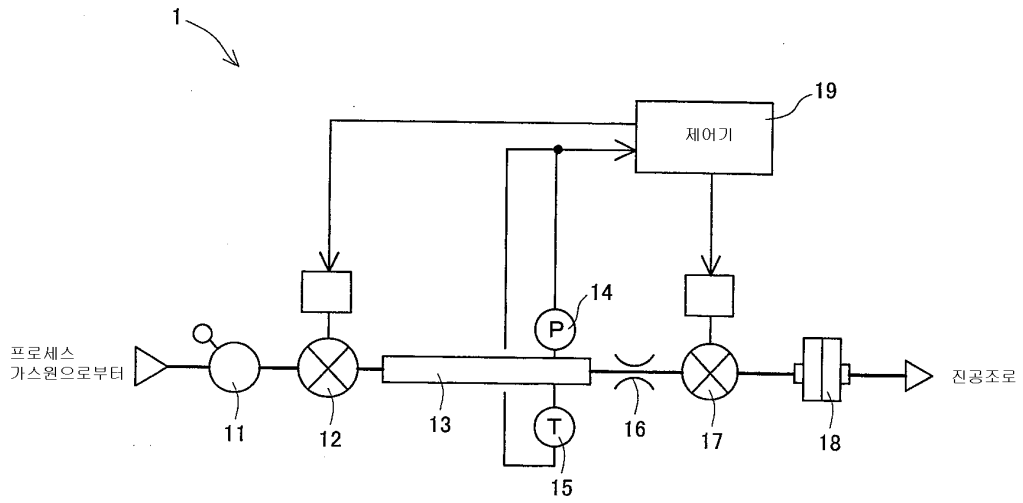
도면5



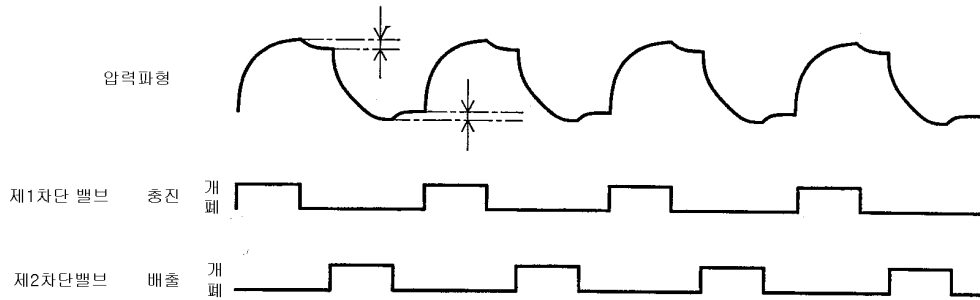
도면6



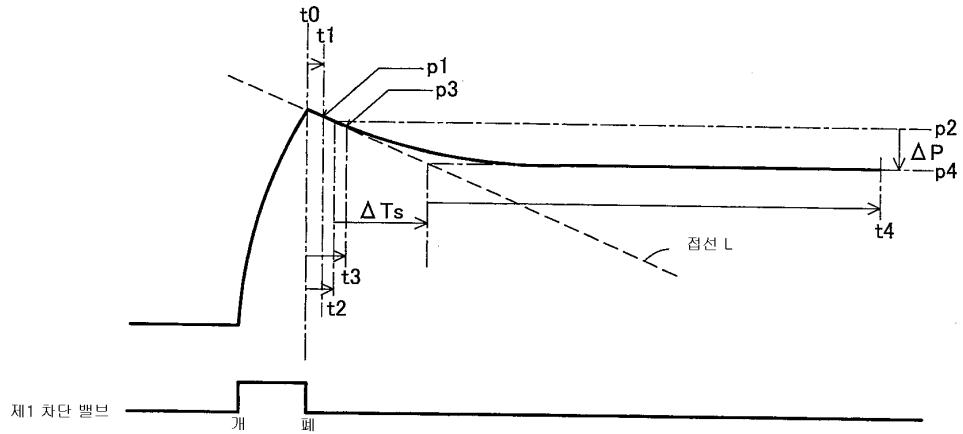
도면7



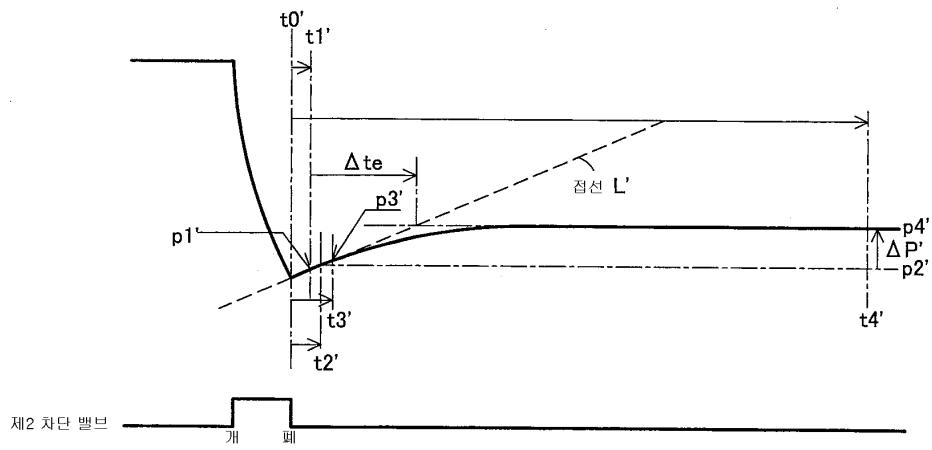
도면8



도면9



도면10



도면13

| 종진 | 경과시간 (초) | 압력 (kPa.abs) | | |
|----------------|----------|----------------|--------|----------------|
| | | N ₂ | Ar | |
| t ₀ | 0.025 | 350.39 | 350.00 | |
| t ₁ | 0.028 | 350.22 | 349.56 | p ₁ |
| t ₂ | 0.029 | 350.13 | 349.41 | p ₂ |
| t ₃ | 0.030 | 349.97 | 349.12 | p ₃ |

| | | | |
|--------------------------------|---------|--------|--------|
| p ₃ -p ₁ | kPa | -0.254 | -0.435 |
| 시간정수 ΔTs | msec | 16 | 13 |
| P _s | kPa.abs | 348.1 | 346.6 |

도면14

| 배출 | 경과시간 (초) | 압력 (kPa.abs) | | |
|------------------|----------|----------------|--------|------------------|
| | | N ₂ | Ar | |
| t ₀ ' | 0.049 | 288.08 | 281.98 | |
| t ₁ ' | 0.050 | 287.17 | 282.01 | p ₁ ' |
| t ₂ ' | 0.051 | 287.39 | 282.32 | p ₂ ' |
| t ₃ ' | 0.052 | 287.55 | 282.66 | p ₃ ' |

| | | | |
|-----------------------------------|---------|-------|-------|
| p ₃ '-p ₁ ' | kPa | 0.375 | 0.656 |
| 시간정수 ΔTe | msec | 50 | 42 |
| P _e | kPa.abs | 296.8 | 296.1 |

도면15

| 유량계산 | | N ₂ | Ar |
|----------|------|----------------|---------|
| 온도 | °K | 300 | 300 |
| 총진용적 | cc | 1.75 | 1.75 |
| 주기 | Hz | 16.67 | 16.67 |
| 유량 | sccm | 807.4 | 794.0 |
| 오차 (설정값) | | 0.92 % | -0.75 % |

도면16

| | | 압력 (kPa.abs) | |
|--------|----------|----------------|----------|
| 배기 | 경과시간 (초) | N ₂ | Ar |
| 충진시 계측 | 0.035 | 349.52 | 348.34 |
| 배출시 계측 | 0.060 | 288.52 | 284.23 |
| 압력차 | kPa | 61.00 | 64.11 |
| 온도 | °K | 300 | 300 |
| 충진 용적 | cc | 1.75 | 1.75 |
| 주기 | Hz | 16.66666 | 16.66667 |
| 유량 | sccm | 959 | 1,008 |