(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl.[6]
G05B 6/02

(45) 공고일자 2003년10월17일
(11) 등록번호 10-0395984
(24) 등록일자 2003년08월14일

(21) 출원번호 10-1997-0001901
(22) 출원일자 1997년01월23일

(65) 공개번호 특1997-0059859
(43) 공개일자 1997년08월12일

(30) 우선권주장 96-28481 1996년01월23일 일본(JP)

(73) 특허권자 동경 엘렉트론 주식회사
일본국 도쿄도 미나토구 아카사카 5초메 3반 6고

(72) 발명자 가노 소이치
일본 가나가와켄 츠쿠이군 시로야마마치 마치야 1-18-9 리버티 하우스 2 102

(74) 대리인 김창세

심사관 : 김재문

(54) 열처리장치의제어파라미터결정방법및그장치

요약

본 발명에 따른 열처리 장치의 온도 제어 파리미터의 결정 방법은 PID 제어를 위한 P, I, D의 각 값을 적당히 결정하는 단계와, 결정된 PID 값에 기초해서 가열되는 가열 노의 온도를 검출하여 온도 검출 데이터를 구하는 단계와, 이 온도 검출 데이터에 기초하여 열처리 장치의 시스템 전체 전달 함수를 구하는 단계와, 열처리 장치의 시스템 전체의 전달 함수를 적당히 결정하는 P, I, D의 각 값으로부터 상기 가열 노의 전달 함수를 구하는 단계와, 가열 노의 전달 함수와 실제 프로세스시에 실현하고자 하는 목표 전달 함수에 기초하여 실제 프로세스시에 사용하는 제어 파라미터 P, I, D를 구하는 단계를 포함한다.

대표도

도 1

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 제어 파라미터 결정 장치를 포함하는 열처리 장치의 개략적인 구성을 도시한 도면,
도 2는 도 1에 도시된 열처리 장치의 시스템 전체의 개략적인 블록도,
도 3은 본 발명이 적용되는 종형 열처리 장치의 단면도,
도 4는 본 발명의 제어 파라미터 결정 방법을 설명하기 위한 흐름도,
도 5는 가열 노의 목표 온도 데이터 및 온도 검출 데이터를 도시하는 특성도,
도 6은 본 발명의 실시예에 따른 피드백 시스템을 도시하는 블록도.

도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

2 : 온도 콘트롤러 3 : 가열 노
4 : 제 1 처리부 5 : 제 2 처리부

6 : 제 3 처리부 21; 편차 회로부
22 : PID 조절부 31 : 히터
32 : 전력 제어부 33 : 온도센서
40 : 종형 열처리 장치 41 : 반응관
44 : 카바 45 : 보온통
46 : 매니폴드 47 : 가스 도입관
48 : 배기관

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은, 예컨대, 반도체 웨이퍼를 일괄처리하는 열처리 장치의 제어 파라미터를 결정하는 방법 및 그 장치에 관한 것이다.
반도체 디바이스의 제조 프로세스중에는, 화학 기상 증착법(chemical vapor deposition:CVD) 또는 산화 처리(oxidation treatment) 등의 열처리가 있는데, 이 열처리를 일괄 기법으로 행하는 장치의 하나로서 종형 열처리 장치(vetrical type heat treatment instrument)가 알려져 있다. 이 장치를 이용한 열처리 방법은, 우선 웨이퍼 보트에 복수의 웨이퍼를 선반 모양으로 탑재한 후, 이 웨이퍼 보트를 이중관 구조(double-tube structure)의 반응관(reaction tube)내에 로드하여, 반응관 내를 히터로 소정 온도에서 가열함과 동시에, 배기관을 통해 배기시키면서 가스 도입관(gas inlet pipe)로부터 처리 가스를 도입함으로써 행해진다.
그런데, 웨이퍼의 열처리 프로세스에서는, 열처리 분위기에 대해 고정밀도로 온도를 제어할 필요가 있다. 예를 들면, 반응관의 외면 근방에 온도 센서를 설치하고, 이 온도 센서의 검출 신호를 피드백해서, PID 조절부에 의해 PID 연산을 수행하여 전력 제어부를 통해서 히터의 전력량을 제어하고 있다. 이러한 온도 제어를 수행할 경우, 온도 제어 특성이 요구 성능을 만족시켜야 할 필요가 있는데, 즉, 가열 노내의 온도 상승 곡선이 목표로하는 곡선으로 될 필요가 있고, 이를 위해 온도 제어기의 제어 파라미터(P, I, D)를 최적값으로 결정할 필요가 있다. 종래의 경우, P, I, D는 온도 센서의 검출값의 시간적 변화를 관측하면서 온도 상승 곡선이 최적이 되도록 조작자가 PID 값을 시행과 착오를 기반으로 조절하므로써 수행되었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

그러나, 제어 파라미터를 조정하는 데는 높은 숙련도를 필요로 하고, 시행착오에 의존하는 경우가 많기 때문에 그 작업에 많은 시간을 요한다. 게다가, 웨이퍼 보트에 탑재된 웨이퍼의 배열 방향(상하 방향)의 처리 온도의 균일성(면간 균일성(inter-surface temperature uniformity))을 고려하여, 히터가 종방향으로 복수개, 예컨대, 5개로 분할되어 있기 때문에, 각 히터마다 제어 파라미터를 조정할 필요가 있어 조정 작업이 매우 번잡하였다.
따라서, 본 발명은, 예컨대, 반도체 웨이퍼에 대한 열처리 장치의 온도 제어를 행하는 경우에, 목적으로 하는 온도 제어 특성을 얻기 위한 제어 파라미터를 용이하게 결정할 수 있는 제어 파라미터 조정 방법 및 그 장치를 제공하는 것을 목적 으로 한다.

발명의 구성 및 작용

본 발명은, 열처리 장치의 온도 제어에 필요한 온도 제어 파라미터의 초기값을 설정하는 단계와, 초기에 설정된 상기 온도 제어 파라미터에 따라 상기 열처리 장치의 가열 노를 승온시키는 단계와, 상기 열처리 장치의 가열 노의 처리열의 온도에 기초하여, 상기 열처리 장치의 시스템 전체의 전달 함수를 구하는 단계와, 상기 시스템 전체의 전달 함수와 상기 온도 제어 파라미터에 기초하여 상기 가열 노의 전달 함수를 구하는 단계와, 상기 열처리 장치의 전체 시스템의 목표 전달 함수와 상기 가열 노의 전달 함수로부터 실제 프로세스에서의 온도 제어 파라미터를 구하는 단계를 포함하는 열처리 장치의 온도 제어 파라미터 결정 방법을 제공한다.
본 발명은, 피처리체를 열처리하기 위한 가열 노내에 설치된 온도 검출부와, 상기 온도 검출부로부터 검출된 온도 검출값과 온도 목표값의 편차에 기초한 제어 파라미터에 의해 상기 가열 노의 가열원으로의 공급 전력을 제어하는 제어 신호를 출력하는 조절부와, 상기 가열 노를 승온시킨 때의 상기 온도 검출부의 온도 검출 데이터에 기초하여, 상기 조절부 및 상기 가열 노를 포함하는 시스템 전체의 전달 함수를 구하는 제 1 전달 함수 산출 수단과, 상기 전달 함수 산출 수단에서 구해진 시스템 전체의 전달 함수와 상기 온도 검출 데이터를 구할 때에 이용된 상기 조절부의 제어 파라미터에 기초하여, 상기 가열 노의 전달 함수를 구하는 제 2 전달 함수 산출 수단과, 상기 제 2 전달 함수 산출 수단에서 구한 가열 노의 전달 함수와 목표로 하는 시스템 전체의 전달 함수에 기초하여, 열처리시에 이용되는 상기 조절부의 제어 파라미터를 구하는 수단으로 구성된 열처리 장치의 제어 파라미터 결정 장치를 제공한다.

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
도 1에 도시한 종형 열처리 장치의 제어 파라미터 결정장치에 따르면, 온도 제어기(2)가 가열 노(3)의 온도를 제어하기 위해 마련되고, 이 온도 제어기(2)로부터 가열 노(3)의 히터(31)의 전력 제어부(32)에 제어 신호가 공급되며, 이에 따라 히터(31)의 전력 공급량이 제어된다.
후술하는 바와 같이, 가열 노(3)는 종형 반응관(41)의 주위에 설치되고, 가열원인 저항 발열체로 구성되는 히터(31)를 구비한다. 온도 제어기(2)는 가열 노(3)의 히터(31)와 반응관(41) 사이에 설치된 온도 검출부의 온도 센서(33)의 온도 검출값을 수신하여 피드백하며, 편차 회로부(21)에서 온도 목표값와 온도 센서(33)의 온도 검출값을 비교하여, 그의 차분값을 PID 조절부(22)에 의해 PID 연산 처리를 행하며, 그 연산 결과를 제어 신호로서 전력 제어부(32)로 출력한다.
제 1 처리부(4)는 메모리 및 CPU를 구비하며, 히터(31)에 전력을 공급해서 가열 노(3)를 승온시킬 때 온도 센서(33)에 의해 검출된 온도 검출값을 메모리내에 기입하고, 온도의 시간 변화에 따른 데이터를 작성하며, 이 데이터를 해석하여 시스템 전체의 전달 함수Gp를 구하는 기능을 갖는다.
제 2 처리부(5)는 온도 데이터를 구할 때에 이용된 PID 조절부(22)의 제어 파라미터, 본 실시예의 경우 P(비례 요소:proportional factor), I(적분 요소:integral factor), D(미분 요소:differential factor)와, 제 1 처리부에서 구한 시스템 전체의 전달 함수 Gp에 기초하여, 가열 노(3)의 전달 함수 Gf를 연산하여 구하는 기능을 갖는다.
제 3 처리부(6)는 제 2 처리부(5)에서 구한 가열 노(3)의 전달 함수Gf와, 실제로 피처리체를 가열 노(3)내에서 열처리할 때의 시스템 전체의 전달 함수, 즉, 열처리시(실제 프로세스시)에 목표로 하는 시스템 전체의 전달 함수Gp에 기초하여, 실제 프로세스시에 사용되는 PID 조절부(22)의 PID, 즉, Gc를 연산에 의해 구하는 기능을 갖는다. 상술한 각 처리부(4 6)는, 예컨대, 마이크로컴퓨터로 구성된다.
즉, 도 2에 도시한 바와 같이 시스템 전체의 전달 함수를 Gp, 가열 노(3)의 전달 함수를 Gf, PID 조절부(22)의 전달 함수를 Gc라고 하면, 다음 수학식1이 성립된다.

수학식 1

$$Gp = \frac{(GcGf)}{(1+GcGf)}$$

상기 수학식1에 있어서, Gp 및 Gc는 기지이므로 Gf가 구해진다. 다음에, 시스템 전체의 목표 전달 함수를 Gp ′ 라고 하면, 이 Gp ′ 와 구해진 Gf로부터 상기 수학식1에 기초해서 Gc가 구해진다. 이와 같이 하여 최적의 PID가 산출되고, 이 PID에 기초해서 시스템 전체를 조정한다.
그런데, 상기 수학식1에서 시스템 전체의 전달 함수Gp를 구할 필요가 있는 데, 이것은 다음과 같이 구해진다. 우선, 시스템 전체의 전달 함수Gp(s)는 다음 수학식2에 의해 구해진다.

수학식 2

$$Gp(s) = \frac{a_0}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

수학식 3

$$s = \frac{2}{T_3}\ \frac{1+Z^{-1}}{1-Z^{-1}}$$

수학식 4

$$Gp(Z^{-1}) = \frac{B_0 + B_1 Z^{-1} + B_2 Z^{-2} + B_3 Z^{-3}}{1 + A_1 Z^{-1} + A_2 Z^{-2} + A_3 Z^{-3}} = Y$$

Y/X로 한 경우,

수학식 5

$$Y = -A_1 YZ^{-1} - A_2 YZ^{-2} - A_3 YZ^{-3} + B_0 X + B_1 XZ^{-1} + B_2 XZ^{-2} + B_3 XZ^{-3}$$

Y를 최소 자승법(method of least squares)으로 전개하면, A 및 B가 구해진다. 이들 A 및 B가 일정값에 도달한 때의 Gp(s)가 시스템 전체의 전달 함수 Gp가 된다.
즉, 초기 온도 파라미터 Gc, 시스템 전체의 전달 함수 Gp 및 가열 노의 전달 함수 Gf를 이용하여 실제 프로세스에 있어서의 온도 제어 파라미터, 즉, P, I, D를 셀프-콘시스턴트 필드(self-consistent field)에서 구한다.
다음으로, 상술한 종형 열처리 장치에 대해 도 3을 참조하여 간단히 설명하 면, 반응관(41)은, 예컨대, 종형 열처리 장치(40)의 2중관 구조를 가지며, 이 반응관(41)의 내부에는 다수의 웨이퍼(W)를 탑재하여 반입하기 위한 웨이퍼 보트(42)가 보트 엘리베이터(43)의 상부에 덮개(44), 보온관(45)를 통해서 설치되어 있다. 또한, 반응관(41)은 그의 하단에

서 매니폴드(46)에 유지되며, 이 매니폴드(46)의 하부 측면에는 처리 가스를 반응관(41)내로 도입하기 위한 가스 도입관(47)이 삽입 설치되고, 그의 상부 측면에는 처리 가스를 배출하기 위한 배기관(48)이 접속되어 있다.
반응관(41)의 외부에는 종방향으로 복수개, 예컨대, 5개의 히터(31)가 단열체(30)의 내주면에 설치되어 있고, 이들 히터(31)는 각각 전력 제어부(32)에 의해 전력 공급량이 제어되도록 구성되어 있다. 또한, 히터(31)의 위치에 대응하여, 반응관(3)의 외면 부근에 5개의 온도 센서(33)가 종방향으로 배치되도록 마련된다. 여기서, 도 1의 설명에서는 이들 히터 및 온도 군의 한쌍을 대표로 해서 설명한다.
다음으로, 상술한 실시예의 동작에 대해 도 4 도 6을 참조하여 보다 상세히 설명한다.
우선, PID 조절부(22)의 P, I, D의 각 값을 적당히 결정하고(단계S1), 온도 제어기(2)에 의해 히터(31)로의 공급 전력을 제어하면서 가열 노(3)를 가열하여 온도 검출 데이터(온도 검출값의 시간 변화에 따른 데이터)를 취득한다(단계S2). P, I, D의 각 값을 결정하는 공정은, 예컨대, 입력 장치(도시하지 않음)로부터 마이크로컴퓨터를 포함하는 제어부(10)에 수치를 입력함으로써 수행된다. 또, 온도 검출 데이터를 취득하는 공정은, 실제 프로세스에서 사용하는 시퀀스를 이용하여, 예컨 대, 가열 노(3)내를 소정의 온도에서 가열해 두고, 웨이퍼 W를 탑재한 웨이퍼 보트(42)를 가열 노(3)내로 반입한 후, 그 온도로부터 프로세스 온도까지 승온시킴으로써 행해진다.
도 5는 목표로 하는 온도 데이터 a와 상기 공정에서 얻은 온도 검출 데이터(실측정 온도) b와의 관계를 일예로 도시하고 있다. 본 발명의 요점은 실제 프로세스시의 온도 데이터를 목표 온도 a로 하기 위해 PID의 각 값을 어떻게 결정할 것인가에 있는데, 본 실시예에서는 우선 도 5의 온도 검출 데이터 b에 기초하여 단계(S3)에서 시스템 전체의 전달 함수 Gp를 구한다. 시스템 전체의 전달 함수 Gp는, 도 2를 참조하여 설명한 바와 같이, 도 6에 도시한 PID 조절부(22)와 가열 노(3)를 합쳐 하나의 블럭으로서 보았을 때의 전달 함수이다.
다음으로, 단계(S4)에서, 시스템 전체의 전달 함수 Gp와 단계(S1)에서 적당히 결정된 P, I, D의 각 값으로부터 가열 노(3)의 전달 함수 Gf를 구한다. 이 가열 노(3)의 전달 함수 Gf를 구하는 방법의 일예에 대해 이하에 설명한다.
현재 시스템 전체의 전달 함수로써 Gp(s)라고 하는 특성이 얻어지고, 이것을, 예컨대, 다음 수학식6에 의해 근사시킨다. 단, s=jω이다.

수학식 6

$$Gp(s)=\frac{a_0}{s^3+a_2\cdot s^2+a_1\cdot s+a_0}$$

또한, PID 제어로 하고 있기 때문에 분모의 차수를 3차로 했지만, PI 제어일 경우에는 2차로 하여도 무방하다. 단, PID 제어의 경우에서도 후술하는 바와 같이 2차 지연 근사로서 취급하는 경우도 본 발명의 범위에 포함된다.
또한, PID 조절부(22)의 전달 함수 Gc(s)는 수학식7로 표현되고, 이 수학식7을 이용한 결과, 시스템 전체의 전달 함수가 수학식6과 같이 정의되므로, 가열 노(3) 자체의 전달 함수 Gf(s)는 수학식8로서 나타낼 수 있다.

수학식 7

$$Gc(s)=P+\frac{1}{s}+D\cdot S \quad (P,\ I,\ D\text{는 단계}S1\text{에서 구한값})$$

수학식 8

$$Gf(s)=\frac{B_0}{s^2+A_1\cdot s+A_0}$$

시스템 전체의 전달 함수 Gp(s), PID 조절부(22)의 전달 함수 Gc(s) 및 가열 노(3) 자체의 전달 함수 Gf(s)의 사이에는 대략 다음 수학식9의 관계가 있고, Gc(s), Gp(s)를 대입하여 정리하면 수학식10이 된다.

수학식 9

$$Gp=\frac{Gc(s)\cdot Gf(s)}{1+Gc(s)\cdot Gf(s)}$$

수학식 10

$$Gp=\frac{B_0\cdot D\cdot s^2+B_0\cdot P\cdot s+B_0\cdot I}{s^3+(A_1+B_0\cdot D)\cdot s^2+(A_0+B_0\cdot P)\cdot s+B_0\cdot I}$$

따라서, 실측정 데이터로부터 구한 수학식6의 Gp(s)와 수학식10의 Gp(s)를 근사적으로 같게 설정함으로써, 가열 노(3)의 전달 함수 Gf(s)를 구할 수 있다. 단, 수학식6과 수학식10은 분자의 차수가 다르게 되어 있어 그대로 비교하여 A_0, A_1, B_0를 구할 수 없다. 따라서, 이들 수학식을 각각 수학식11, 수학식12의 형태로 나타낸다.

수학식 11

$$Gp(s)=\frac{1}{1+\frac{a_1}{a_0}\cdot s+\frac{a_2}{a_0}\cdot s^2+\frac{1}{a_0}\cdot s^3}$$

수학식 12

$$Gp(s)=\frac{1}{1+\frac{A_0}{B_0\cdot I}\cdot s+\frac{I\cdot A_1-A_0\cdot P}{B_0\cdot I^2}\cdot s^2+Z\cdot s^3+\cdots}$$

$$\text{단, } Z=\frac{I^2-A_0\cdot D\cdot I-P\cdot I\cdot A_1+A_0\cdot P^2}{B_0\cdot I^3}$$

단, 수학식12는 수학식1의 분모와 분자를 분자 다항식으로 나누고, 그 다음 분모를 급수 전개한 것이다.
수학식11과 수학식12의 분모의 계수를 동일하게 두고 수학식13을 구한다.

수학식 13

$$\frac{a_1}{a_0}=\frac{A_0}{B_0\cdot I}$$
$$\frac{a_2}{a_0}=\frac{I\cdot A_1-A_0\cdot P}{B_0\cdot I^2}$$
$$\frac{1}{a_0}=\frac{I^2-A_0\cdot D\cdot I-P\cdot I\cdot A_1+A_0\cdot P^2}{B_0\cdot I^3}$$

이들 식을 연립하여, A $_0$, A $_1$ 및 B $_0$ 을 구하면, 다음 수학식14이 구해진다.

수학식 14

$$A_0=\frac{a_1\cdot I}{a_1\cdot D+I+a_2\cdot P}$$
$$A_1=\frac{a_0\cdot I}{a_1\cdot D+I+a_2\cdot P}\cdot\left(\frac{A_0\cdot P\cdot(a_1\cdot D+I+a_2\cdot P)}{a_0\cdot I^2}+\frac{a_2}{a_0}\right)$$
$$B_0=\frac{a_0}{a_1\cdot D+I+a_2\cdot P}$$

이와 같이 하여, 가열 노(3)의 전달 함수 Gf(s)를 추정할 수 있다.
다음에, 도 4의 단계(S5)에 있어서, 가열 노(3)의 전달 함수 Gf(s)와 목표로 하는, 즉, 실제 프로세스시에 실현하고자 하는 도 5의 a로 나타낸 전달 함수 Gr(s)에 기초하여, 실제 프로세스시에 사용하는 PID 조절부의 제어 파라미터 P, I, D를 구한다. 이 P, I 및 D 의 각 값을 Po, Io, Do로 하고, 목표로 하는 시스템 전체의 전달 함수 Gp(s)를 GPO(S)로서 다음 수학식15에 나타낸다.
수학식15는 수학식16으로 나타낼 수 있다.

수학식 15

$$Gp_{0(s)}=\frac{a_0}{s^3+a_2\cdot s^2+a_1\cdot s+a_0}$$

수학식 16

$$Gp(s)=\frac{1}{1+\frac{\alpha_1}{\alpha_0}\cdot s+\frac{\alpha_2}{\alpha_0}\cdot s^2+\frac{1}{\alpha_0}\cdot s^3}$$

이번에는, Gc(s)의 제어 파라미터로서 Po, Io, Do를 이용하므로, G(s) 및 Gf(s)로 구성되는 시스템 전체의 전달 함수 Gp(s)는 수학식17로 된다.

수학식 17

$$Gpf(s)=\frac{1}{1+\frac{A_0}{B_0\cdot I_0}\cdot s+\frac{I_0\cdot A_1-A_0\cdot P_0}{B_0\cdot I_0^2}\cdot s^2+Z\cdot s^3+\cdot\cdot}$$

$$\text{단},Z=\frac{I_0^2-A_0\cdot D_0\cdot I_o-P_0\cdot I_0\cdot A_1+A_0\cdot P_0^2}{B_0\cdot I_0^3}$$

수학식16 및 수학식17의 각 항의 계수를 동일하게 두면 수학식18이 얻어진다.

수학식 18

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_0}=\frac{A_0}{B_0\cdot I_0}$$

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_0}=\frac{I_0\cdot A_1-A_0\cdot P_0}{B_0\cdot I_0^2}$$

$$\frac{1}{\alpha_0}=\frac{I_0^2-A_0\cdot D_0\cdot I_0-P_0\cdot I_0\cdot A_1+A_0\cdot P_0^2}{B_0\cdot I_0^3}$$

이들 식을 연립하여, Po, Io, Do를 구하면 이하의 수학식19와 같다.

수학식 19

$$P_o=\frac{\alpha_0\cdot A_1I_0-\alpha_2\cdot B_0\cdot I_o^2}{\alpha_0\cdot A_0}$$

$$I_o=\frac{\alpha_0\cdot A_o}{\alpha_1\cdot B_o}$$

$$D_o=\frac{\alpha_0\cdot I_o^2-\alpha_0\cdot A_1\cdot P_o\cdot I_o+\alpha_0\cdot A_0\cdot {P_o}^2-B_0\cdot {I_0}^3}{\alpha_0\cdot A_0\cdot I_0}$$

즉, 원하는 특성을 실현할 수 있는 PID 조절부(22)의 전달 함수의 P, I, D의 각 값이 상술한 Po, Io, Do로서 구해진다. 상술한 실시예에 따르면, 1회의 온도 측정에 의해 복수단의 히터(31)에 관계되는 PID 조절부(22)의 제어 파라미터를 조정할 수 있으므로, 종래와 같이 시행착 오에 의존한 방법에 비해, 숙련을 필요로 하지 않아 용이하고 또 단시간내에 조정할 수 있다.

여기서, 단계(S1-S3)의 결과로부터 경험적으로 어떤 제어 파라미터를 어떻게 조정하면 목표하는 특성에 근접하는지를 알고 있는 경우에는, 그러한 경험 사항, 예컨대, 얻어진 특성과 제어 파라미터의 수정량과의 관계를 프로그램으로서 저장해 두어도 무방하다. 그리고, 단계(S1)에서 P, I, D 값을 적당히 결정할 때에, 예컨대, 먼저 1회에 가열 노를 승온시켜, 그 때의 온도 검출 데이터와, P, I, D 값과, 프로그램에 기초하여, 목표로 하는 특성에 보다 가까운 PID의 각 값을 구하고, 이 값을 이용하여 도 4의 과정을 실행하여도 무방하다.

상기에 있어서, 시스템 전체의 전달 함수를 수학식20과 같이 2차 지연으로서 근사시켜, 최소2승법으로 계수(ζ 및 ω)를 구해도 무방하다.

수학식 20

$$Gp(s)=\frac{\omega^2}{s^2+2\zeta\omega s+\omega^2}=\frac{1}{1+2\cdot\frac{\zeta}{\omega}\cdot s+\frac{1}{\omega^2}\cdot s^2}$$

이 경우, 가열 노(3)의 전달 함수 Gf(s)에 대해서도 2차 지연으로 해서 수학식21과 같이 근사시키면, 온도 측정을 행할 때의 PID 조절부(22)의 전달 함수는 상기 수학식7로 나타냈으므로 계산상에서 구해지는 시스템 전체의 전달 함수 Gp(s)는 다음의 수학식22과 같이 표현된다.

수학식 21

$$Gf(s)=\frac{G\cdot\omega_1^2}{s^2+2\zeta 1\cdot\omega 1\cdot s+(\omega 1)^2}$$

수학식 22

$$\frac{1}{1+\left[\frac{1}{(I\cdot G)}\right]\cdot s+\left[\frac{-1}{\omega_1}\cdot\frac{(-2\cdot I\cdot\zeta_1+p\cdot\omega_1)}{(I^2\cdot G)}\right]\cdot s^2+[L]\cdot s^3+\cdots}$$

$$\text{단, } L=\frac{(I^2-2\cdot P\cdot\omega_1\cdot I\cdot\zeta_1-\omega_1^2\cdot D\cdot I+\omega_1^2\cdot P^2)}{[I^3\cdot(G\omega_1^2)]}$$

수학식20과 수학식22를 비교함으로써 ζ1, ω1, G가 구해진다. 이와 같이 해서 가열 노(3)의 전달 함수가 구해지면, 목표로 하는 시스템 전체의 전달 함수를 수학식23과 같이 2차 지연된 근사식으로서 표시되고, 실제 프로세스에서 사용하는 PID 조절부(22)의 제어 파라미터 P, I, D를 각각 Po, Io, Do로 하여, 수학식23과 수학식24를 비교한다. 단, 수학식24는 PID 조절부(22)의 전달 함수와 가열 노(3)의 전달 함수를 합성한 계산상의 전달 함수이며, 상기의 예와 마찬가지로 두 수학식을 비교하여 수학식25와 같이 Po, Io, Do가 구해진다.

수학식 23

$$\frac{\omega_0^2}{s^2+2\zeta_0\cdot\omega_0\cdot s+(\omega_0)^2}$$

수학식 24

$$\frac{1}{1+\frac{1}{(I_0\cdot G)}\cdot s+\left[\frac{1}{\omega_1}\cdot\frac{(2\cdot I_0\cdot\zeta_1-P_0\cdot\omega_1)}{(I_0^2\cdot G)}\right]\cdot s^2+[M]\cdot s^3+\cdots}$$

$$\text{단, } M=\frac{-(-I_0^2+2\cdot P_0\cdot\omega_1\cdot I_0\cdot\zeta_1+\omega_1^2\cdot D_0\cdot I_0-\omega_1^2\cdot P_0^2)}{[I_0^3\cdot(G\omega_1^2)]}$$

수학식 25

$$I_0=\frac{\omega_0}{(\zeta_0\cdot\omega)}\cdot\zeta\cdot I$$

$$P_o=\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{-\omega\cdot\zeta\cdot I+\omega_0\cdot I\cdot\zeta_0+2\cdot\zeta\cdot\omega_0\cdot P\cdot\omega\cdot\zeta_0)}{(\omega^2\cdot\zeta_0^2)}\right.$$

$$D_0=\frac{1}{4}\cdot\frac{(4\cdot\omega_0^2\cdot\zeta\cdot\zeta_0^2\cdot P\cdot I\cdot G+4\cdot\omega_0^2\cdot\zeta\cdot\zeta_0^2\cdot\omega^2\cdot D-N)}{[\omega^3\cdot(\zeta_0^3\cdot\omega_0)]}$$

$$\text{단, } N=I\cdot\omega\cdot\zeta_0\cdot\omega_0-2\cdot p\cdot\zeta\cdot\omega^2\cdot\zeta_0\cdot\omega_0+\zeta\cdot I\cdot\omega^2$$

또한, 본 발명은 횡형 열처리 장치에 적용해도 무방하고, 혹은 일괄식의 열처리 장치에 제한되지 않고, 예컨대, 종형 반응관내에서 아래쪽에서부터 1장씩 웨이퍼를 반입하여 열처리하는 개별 처리식 열처리 장치에 적용해도 무방하다.

발명의 효과

이상과 같이, 본 발명에 의하면, PID 조절부의 제어 파라미터를 적당하게 결정하여 가열 노를 승온시키고, 그 때의 온도 검출 데이터에 기초하여 가열 노의 전달 함수를 구하며, 가열 노의 전달 함수와 목표로 하는 시스템 전체의 전달 함수로부터 역으로 PID 조절부의 적절한 제어 파라미터를 구함으로써, PID 조절부의 제어 파라미터를 용이하게 결정할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

피처리체를 열처리하는 열처리 장치의 온도 제어 파라미터 결정 방법에 있어서,
상기 열처리 장치의 온도 제어에 요구되는 온도 제어 파라미터의 초기값을 설정하는 단계와,
초기설정된 온도 제어 파라미터에 따라, 상기 열처리 장치의 가열 노(a heat furnace)를 승온시키는 단계와,
상기 열처리 장치의 가열 노의 열처리 온도에 기초하여, 상기 열처리 장치의 시스템 전체의 전달 함수(a transfer function)를 획득하는 단계와,
상기 시스템 전체의 전달 함수와 상기 온도 제어 파라미터에 기초해 상기 가열 노의 전달 함수를 획득하는 단계와,
상기 열처리 장치의 시스템 전체의 목표 전달 함수와 상기 가열 노의 전달 함수로부터, 실제 프로세스에서의 온도 제어 파라미터를 획득하는 단계
를 포함하는 열처리 장치의 온도 제어 파라미터 결정 방법.

청구항 2.
제 1 항에 있어서,
상기 온도 제어 파라미터 설정 단계는 PID 제어에 있어서의 P, I 및 D(비례 인수, 적분 인수 및 미분 인수)를 상기 온도 제어 파라미터로서 설정하는 단계인 열처리 장치의 온도 제어 파라미터 결정 방법.

청구항 3.
피처리체를 열처리하는 열처리 장치의 온도 제어 파라미터 결정 방법에 있어서,
PID 제어를 위한 P, I 및 D의 각 값을 적절히 결정하는 단계와,
결정된 PID의 값에 기초하여, 가열되는 가열 노의 온도를 검출해서 온도 검출 데이터를 획득하는 단계와,
상기 온도 검출 데이터에 기초하여, 열처리 장치의 시스템 전체의 전달 함수를 구하는 단계와,
상기 시스템 전체의 전달 함수와 적절히 결정된 P, I 및 D의 각 값으로부터, 상기 가열 노의 전달 함수를 구하는 단계와,
상기 가열 노의 전달 함수와 실제 프로세스시에 실현하고자 하는 목표 전달 함수에 기초하여, 실제 프로세스시에 사용될 제어 파라미터 P, I 및 D를 구하는 단계
를 포함하는 열처리 장치의 온도 제어 파라미터 결정 방법.

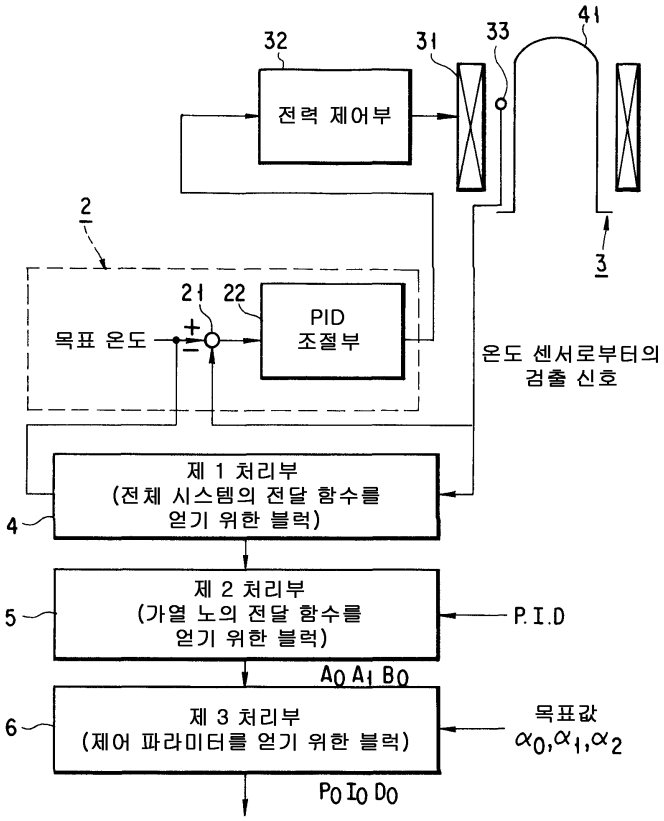
청구항 4.
피처리체를 열처리하는 열처리 장치의 제어 파라미터 결정 장치에 있어서,
피처리체를 열처리하기 위한 가열 노내에 설치된 온도 검출부와,
상기 온도 검출부로부터 검출된 온도 검출값과 목표 온도 값 사이의 편차(deviation)에 기초한 제어 파라미터에 의해, 상기 가열 노의 가열원(a heat source)으로의 공급 전력을 제어하는 제어 신호를 출력하는 조절부와,
상기 가열 노를 승온시킨 경우 상기 온도 검출부의 온도 검출 데이터에 기초하여, 상기 조절부 및 상기 가열 노를 포함하는 시스템 전체의 전달 함수를 구하는 제 1 전달 함수 산출 수단과,
상기 제 1 전달 함수 산출 수단에 의해 구해진 시스템 전체의 전달 함수와, 상기 온도 검출 데이터를 구할 때에 사용된 상기 조절부의 제어 파라미터에 기초하여, 상기 가열 노의 전달 함수를 구하는 제 2 전달 함수 산출 수단과,
상기 제 2 전달 함수 산출 수단에 의해 구해진 가열 노의 전달 함수와 목표로 하는 시스템 전체의 전달 함수에 기초해서, 열처리시에 사용될 상기 조절부의 제어 파라미터를 구하는 제어 파라미터 산출 수단
을 포함하는 열처리 장치의 제어 파라미터 결정 장치.

청구항 5.
제 4 항에 있어서,
상기 제어 파라미터 산출 수단은 PID 제어를 위해 P, I 및 D를 제어 파라미터로서 산출하고, 상기 조절부는 상기 제어 파라미터 산출 수단에 의해 계산된 P, I 및 D에 기초하여 상기 가열 노에 대한 PID 제어를 수행하는 PID 조정기를 구비하는 열처리 장치의 제어 파라미터 결정 장치.

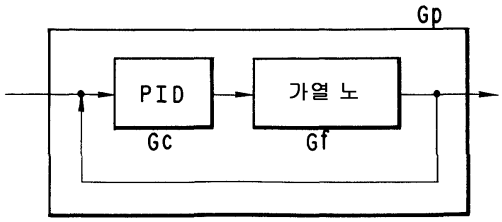
청구항 6.
피처리체를 열처리하는 열처리 장치의 온도 제어 파라미터 결정 장치에 있어서,
PID 제어를 위한 P, I 및 D의 각 값을 적절히 설정하는 PID 설정 수단과,
설정된 P, I 및 D의 값에 기초하여 가열되는 가열 노와,
상기 가열 노의 온도를 검출하여 온도 검출 데이터를 획득하는 온도 검출 수단과,
상기 온도 검출 데이터에 기초하여, 열처리 장치의 시스템 전체의 전달 함수를 구하는 제 1 연산 수단과,
상기 시스템 전체의 전달 함수와 상기 설정된 P, I 및 D의 각 값으로부터 상기 가열 노의 전달 함수를 구하는 제 2 연산 수단과,
상기 가열 노의 전달 함수와 실제 프로세스시에 실현하고자 하는 목표 전달 함수에 기초하여, 실제 프로세스시에 사용될 제어 파라미터 P, I 및 D를 구하는 제 3 연산 수단
을 포함하는 열처리 장치의 온도 제어 파라미터 결정 장치.

도면

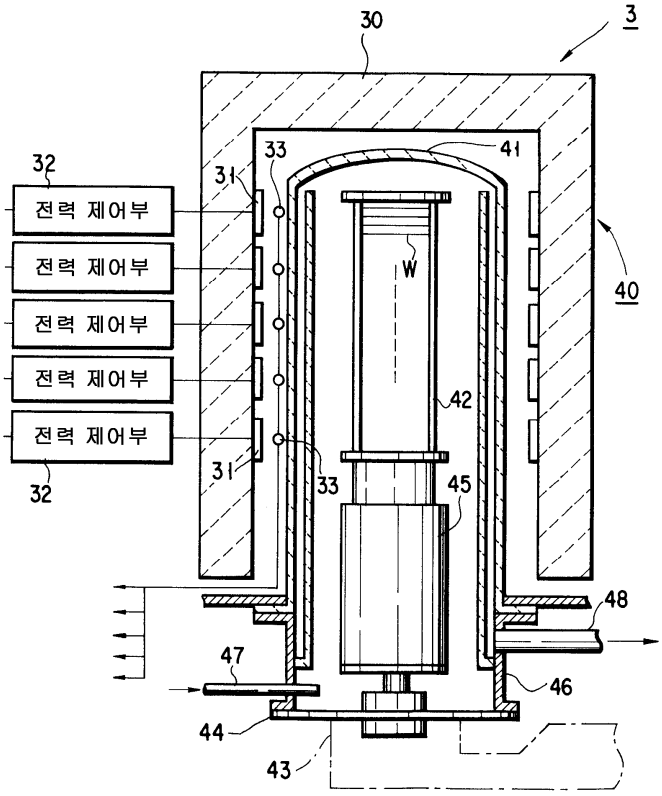
도면1


32
31
33
41
전력 제어부
2
21
22
PID
조절부
목표 온도
온도 센서로부터의
검출 신호
3
제 1 처리부
(전체 시스템의 전달 함수를
얻기 위한 블럭)
4
제 2 처리부
(가열 노의 전달 함수를
얻기 위한 블럭)
5
P.I.D
A0 A1 B0
제 3 처리부
(제어 파라미터를 얻기 위한 블럭)
6
목표값
α0,α1,α2
P0 I0 D0

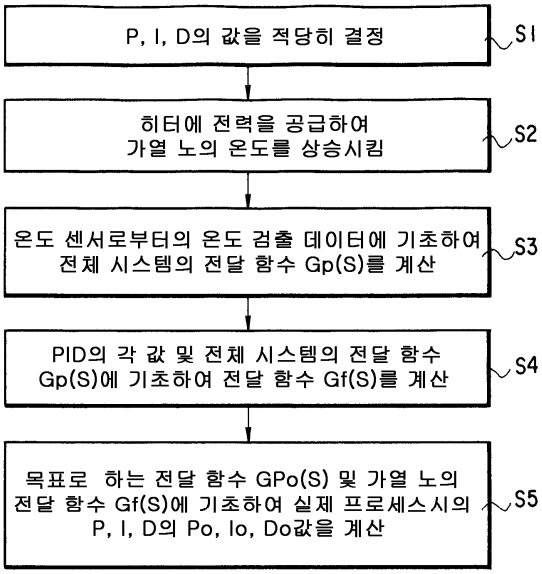
도면2


Gp
PID
Gc
가열 노
Gf

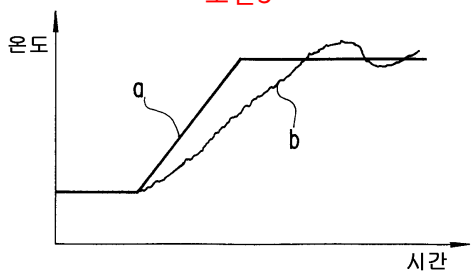
도면3


30
3
32
전력 제어부
전력 제어부
전력 제어부
전력 제어부
전력 제어부
32
33
31
41
W
40
42
31
33
45
48
47
46
44
43

도면4


P, I, D의 값을 적당히 결정
S1
히터에 전력을 공급하여
가열 노의 온도를 상승시킴
S2
온도 센서로부터의 온도 검출 데이터에 기초하여
전체 시스템의 전달 함수 Gp(S)를 계산
S3
PID의 각 값 및 전체 시스템의 전달 함수
Gp(S)에 기초하여 전달 함수 Gf(S)를 계산
S4
목표로 하는 전달 함수 GPo(S) 및 가열 노의
전달 함수 Gf(S)에 기초하여 실제 프로세스시의
P, I, D의 Po, Io, Do값을 계산
S5

도면5


온도
a
b
시간

도면6

