



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년05월16일
 (11) 등록번호 10-1396687
 (24) 등록일자 2014년05월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C23C 14/35 (2006.01) **H01J 37/34** (2006.01)
- (21) 출원번호 **10-2012-7033839(분할)**
- (22) 출원일자(국제) **2008년12월04일**
 심사청구일자 **2013년09월06일**
- (85) 번역문제출일자 **2012년12월26일**
- (65) 공개번호 **10-2013-0002364**
- (43) 공개일자 **2013년01월07일**
- (62) 원출원 **특허 10-2010-7013579**
 원출원일자(국제) **2008년12월04일**
 심사청구일자 **2010년06월18일**
- (86) 국제출원번호 **PCT/IB2008/055102**
- (87) 국제공개번호 **WO 2009/072081**
 국제공개일자 **2009년06월11일**
- (30) 우선권주장
 61/012,101 2007년12월07일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
 US20070084715 A1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
오씨 외를리콘 발처스 악티엔게젤샤프트
 리히텐슈타인, 발처스, 9496, 이라말리 18
- (72) 발명자
카들렉 스타니슬라브
 체코, 프라지 5, 포드 리프카미 13
바론 프랜티세크
 스위스 버체스 에스취 씨에이치 9470 스페미에드
 게스지 4
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김경희

전체 청구항 수 : 총 11 항

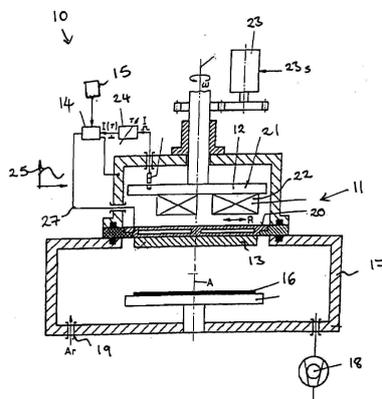
심사관 : 백영환

(54) 발명의 명칭 **마그네트론 스퍼터링 방법**

(57) 요약

마그네트론 스퍼터링 방법은, 마그네트론의 자석을 각도 주파수 ω 로 회전시키는 단계와, 기관 상에 마그네트론의 소스로부터의 재료를 스퍼터링하는 동안, 적어도 제1 고조파가 아닌 자석 회전의 각도 주파수 ω 의 고조파인 주파수 f 를 포함하는 성분을 이용하여 소스로 인가되는 전력 레벨을 주기적으로 변조하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

웨이체트 주얼겐

리히텐슈타인 바절스 리-9496 리에틀 14

솔티 반 마스트 발트

스위스 아즈무스 시에이치 9478 스텔벨게시스 22

특허청구의 범위

청구항 1

마그네트론의 자석을 각도 주파수 ω 로 회전시키는 단계와,

기관 상에 마그네트론의 소스로부터 재료를 스퍼터링하는 동안, 적어도 제1 고조파가 아닌 자석 회전의 각도 주파수 ω 의 고조파인 주파수 f 를 포함하는 성분을 이용하여 소스로 인가되는 전력 레벨을 주기적으로 변조하는 단계를 포함하는 마그네트론 스퍼터링 방법으로서,

상기 주기적 변조는 위상 편이가 있는 코사인, 위상 편이가 있는 사인 또는 코사인과 사인의 합의 형태를 가지고 진폭과 위상 편이를 가지는 전력 보상 함수를 적용하는 것에 의해 소스에 적용되고, 이때 상기 전력 보상 함수 PowerCompFunction은 $PowerCompFunction = (-amp_n / sens_n) \cdot \cos(n\omega t - phase_n + angSens_n)$ 이고, amp_n 은 전력 변조 없이 증착된 공작물로부터 결정된 진폭이고 $phase_n$ 은 전력 변조 없이 증착된 공작물로부터 결정된 위상이고, $ampSens_n$ 는 진폭 민감도이고, $angSens_n$ 는 각도 민감도이고, 고조파 n 에 대해 민감도는 $sens_n = ampSens_n / ampPow_n$ 이고, 이때 $ampPow_n$ 는 n 차 고조파 주파수의 진폭인, 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 전력 레벨의 주기적 변조는 하나 이상의 추가 성분을 포함하고, 상기 각각의 추가 성분은 자석 회전의 각도 주파수 ω 의 고조파이고 제1 주파수와 상이한 주파수 f 를 포함하는 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 주기적 변조는 제1 주파수 f_1 , 제1 진폭 a_1 및 자석의 각도 주파수 ω 에 대한 제1 위상 편이 δ_1 를 갖는 성분을 포함하고, 상기 제1 주파수 f_1 는 제1 고조파가 아닌 각도 주파수 ω 의 고조파인 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 주기적 변조는 제2 주파수 f_2 , 제2 진폭 a_2 및 자석의 각도 주파수 ω 에 대한 제2 위상 편이 δ_2 를 갖는 추가 성분을 포함하고, 상기 제2 주파수 f_2 는 제1 주파수 f_1 와 비교하여 상이한 각도 주파수 ω 의 고조파인 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 제1 주파수 f_1 는 각도 주파수 ω 의 제2, 제3 및 제4 고조파 중 하나이고, 제2 주파수 f_2 는 각도 주파수 ω 의 제1, 제3 및 제4 고조파 중 하나인 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 주기적 전력 변조의 성분은 전력 공급원의 변조 없이 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 기준 필름에 비해 각도 주파수의 단일 고조파, 0의 위상 편이 및 사전 결정된 진폭을 이용하여 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 필름에 대해 측정된 두께의 각도 불균일성의 차이를 보정하도록 선택된 진폭을 포함하는 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 주기적 전력 변조의 성분은 전력 공급원의 변조 없이 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 기준 필름에 비해 각도 주파수의 단일 고조파, 0의 위상 편이 및 사전 결정된 진폭을 이용하여 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 필름에 대해 측정된 두께의 각도 불균일성의 차이를 보정하도록 선택된 위상 편이를 포함하는 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 두께는 푸리에 적분법 또는 최소 자승 근사법에 의해 결정되는 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 소스에 인가되는 주기적 변조는 진폭과 위상 편이를 포함하는 전력 변조 보정 함수를 적용함으로써 결정되고, 상기 전력 변조 보정 함수는 기준 전력 변조와 미분 전력 변조의 벡터합이며,

상기 미분 전력 변조는 각도 주파수의 고조파, 제1 위상 편이 및 제1 진폭을 이용하여 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 제1 필름의 두께와, 상기 각도 주파수의 고조파, 기준 위상 편이 및 기준 진폭을 포함하는 기준 전력 변조를 이용하여 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 기준 필름의 두께 사이의 차이를 측정함으로써 결정되는 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 소스에 적용된 주기적 변조는 진폭과 위상 편이를 포함하는 전력 변조 보정 함수를 적용함으로써 결정되고, 상기 전력 변조 보정 함수는 고조파 주파수에서 마그네트론의 모사된 2차원 침식 프로파일을 회전시키고 증착된 필름의 두께의 불균일성을 계산함으로써 결정되는 마그네트론 스퍼터링 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 첫번째 단계에서 상기 전력 레벨은 각도 주파수 ω 의 고조파인 제1 주파수 f_1 을 갖는 주기적 변조를 포함하고, 두번째 단계에서 상기 전력 레벨은 제2 주파수 f_2 를 갖는 주기적 변조를 포함하며, 상기 제2 주파수 f_2 는 상기 제1 주파수 f_1 에 비해 상이한 각도 주파수 ω 의 고조파인 마그네트론 스퍼터링 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 마그네트론 스퍼터링 방법에 관한 것으로서, 구체적으로는 소스와 회전 가능한 자석을 구비하는 마그네트론을 이용하여 필름을 기관 상에 증착하는 마그네트론 스퍼터링 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 마그네트론 스퍼터링은 스퍼터링될 재료 소스를 제공하는 타겟 위에 플라즈마 터널을 발생시키도록 교차된 전기장과 자장을 이용하는 널리 알려진 기법이다. 전기장은 바이어스에 직류(DC), 교류(AC), 무선 주파수(RF) 또는 AC 공급원이 중첩된 DC를 인가함으로써 생성될 수 있다. 이런 방법은 박막 증착에 널리 사용되고 있다. 많은 용례에서는 단일의 원형 기관, 예컨대 실리콘 웨이퍼 또는 디스크(광학적, 자기적 등)를 코팅하는 것을 수반한다. 회전식 자석 조립체를 구비한 마그네트론이 이 목적을 위해 사용될 수 있다.

[0003] 몇몇 용례에서는, 고도로 균일한 필름 두께가 요망된다. 그러나, 몇몇 물리적 효과가 실제로 구현될 수 있는 균일성을 제한한다. 증착된 필름의 두께 균일성을 제한할 수 있는 한가지 효과는 타겟의 반경방향 침식 및 타겟의 수명에 걸쳐서 그 침식의 변화이다. 하나 이상의 이동 가능한 영구 자석을 갖는 마그네트론이 타겟의 반경방향 침식 효과를 부분적으로 보정함으로써 기관 상에서 필름의 반경방향 두께 분포를 조절하도록 사용될 수 있다.

[0004] 필름의 균일성에 영향을 미치는 다른 물리적 효과는 챔버의 기하학적 형태, 가스 도입 및 펌핑 등에 의해 유발될 수 있다. 스퍼터링된 타겟의 결정 구조의 균질성, 예컨대 입자 크기 및 바람직한 결정 배향이 또한 증착된 필름의 두께 균일성에 영향을 미칠 수 있다. 더욱이, 스퍼터링 수율은 타겟에 있어서 입자의 다양한 결정학적 방향에 따라 다를 수 있다. 이로 인해, 기관 상에 원치않는 두께 불균일성이 생길 수 있다. 이 불균일성의 분포는 명백하게 불규칙적인 형태를 가질 수 있다.

[0005] 각도 두께 불균일성 중 일부는 자석의 회전과 동일한 주파수를 갖고 자석의 회전과 동일한 위상을 갖게 동기화되는 전력 공급원에 의해 소스로 전달되는 전력의 주기적인 변조를 이용함으로써 보정될 수 있다. 전력 변조는 사인 또는 코사인 함수를 포함할 수 있다. 그런 구조는 증착된 필름에서 관찰되는 두께 균일성 패턴에서 경사

(기울기, 휨)를 보정할 수 있다. 그러나, 일부 두께 불균일성이 여전히 존재할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 따라서, 개선된 두께 균일성을 갖도록 필름을 기판 상에 증착할 수 있는 마그네트론 스퍼터링 방법을 제공하는 것이 요망된다.

과제의 해결 수단

[0007] 마그네트론의 자석을 각도 주파수 ω 로 회전시키는 단계와, 기판 상에 마그네트론의 소스로부터 재료를 스퍼터링하는 동안, 적어도 제1 고조파가 아닌 자석 회전의 각도 주파수 ω 의 고조파인 주파수 f 를 포함하는 성분을 이용하여 소스로 인가되는 전력 레벨을 주기적으로 변조하는 단계를 포함하는 마그네트론 스퍼터링 방법이 제공된다.

[0008] 본 출원의 방법에 따라 소스에 인가되는 주기적으로 변조된 전력은 필름의 두께 균일성, 구체적으로 각도 두께 분포를 개선한다.

[0009] 전력 공급원의 시간 종속 변조와 자석의 회전의 각도 주파수 ω 는 f 일 수 있다. 이 주기적 변조는 본 명세서에서 전력 레벨의 시간 종속 변조 주파수가 자석 회전의 각도 주파수와 동일하다면, 즉 $f = \omega$ 일 때, 자석 회전의 각도 주파수 ω 의 제1 고조파로서 설명된다. 전력 레벨의 제2 고조파 주파수는 2ω 이고, 전력 레벨의 제3 고조파 주파수는 3ω 이며, 그 다음의 고조파 주파수는 마찬가지로 방식이다.

[0010] 다른 실시예에 있어서, 전력 레벨의 주기적 변조는 하나 이상의 추가적인 성분을 포함하고, 상기 추가적인 성분은 자석 회전의 각도 주파수 ω 의 고조파이고 제1 주파수와 상이한 주파수 f 를 각각 포함한다. 따라서, 주기적 변조는 시간 종속 주파수와 상이한 2개 이상의 성분을 포함한다. 이들 성분의 적어도 하나는 자석 회전의 각도 주파수의 제1 고조파가 아니다. 실시예에 있어서, 제1 및 제2 고조파가 사용된다. 다른 실시예에 있어서, 전력 변조는 제1, 제2, 제3 및 제4 고조파를 포함하는 성분을 포함한다.

[0011] 다양한 형태의 주기적 변조가 사용될 수 있다. 주기적 변조는 위상 편이가 있는 코사인, 위상 편이가 있는 사인 또는 코사인과 사인의 합의 형태를 갖거나 그 형태에 근사할 수 있다.

[0012] 주기적 변조 성분이 위상 편이를 포함하는 실시예에서, 주기적 변조 성분은 제1 주파수 f_1 , 제1 진폭 a 및 자석의 각도 주파수 ω 에 대한 제1 위상 편이 δ 를 포함하고, 상기 제1 주파수 f_1 는 제1 고조파가 아닌 각도 주파수 ω 의 고조파이다.

[0013] 본 실시예의 추가 개량에 있어서, 주기적 변조는 하나 이상의 추가 성분을 포함할 수 있다. 추가 성분은 제2 주파수 f_2 , 제2 진폭 및 자석의 각도 주파수 ω 에 대한 제2 위상 편이 δ_2 를 포함할 수 있고, 상기 제2 주파수 f_2 는 제1 주파수 f_1 와 비교하여 상이한 각도 주파수 ω 의 고조파이다.

[0014] 제1 주파수 f_1 는 각도 주파수 ω 의 제2, 제3 및 제4 고조파 중 하나일 수 있고, 제2 주파수 f_2 는 각도 주파수 ω 의 제1, 제3 및 제4 고조파 중 하나일 수 있다.

[0015] 전력 레벨에 인가되는 주기적 전력 변조가 적어도 2개의 단계에서 상이한 다단계 스퍼터링 방법이 또한 제공된다. 이 문맥에서, 단계는 순차적인 시간 주기의 스퍼터링을 의미하도록 사용된다.

[0016] 구체적으로, 첫번째 단계에서 전력 레벨은 각도 주파수 ω 의 고조파인 제1 주파수 f_1 를 갖는 주기적 변조를 포함하고, 두번째 단계에서 전력 레벨은 제2 주파수 f_2 를 갖는 주기적 변조를 포함하며, 제2 주파수 f_2 는 제1 주파수 f_1 에 비해 상이한 각도 주파수 ω 의 고조파이다.

[0017] 이 방법은 웨이퍼 등의 공작물 상에 증착된 필름의 두께의 반경방향 균일성을 개선하도록 사용될 수 있다. 이 실시예에서, 고조파 변조는 반경방향 균일성의 수정을 개시한다. 예컨대, 공작물에서 작은 반경에 대해 각도 두께 균일성이 공작물 에지에서의 각도 두께 균일성과 매우 상이한 경우, 증착 공정을 2개 이상의 단계(시간 단계)로 분할할 수 있다. 각 단계에서, 반경방향 침식 프로파일은 적절한 전력 변조 함수가 각 단계에 사용되도록 상이하다.

- [0018] 두께에 있어서 반경방향 불균일성을 보정하기 위하여, 제1 단계는 타겟 중심 부분에서 강한 반경방향 침식시 수행됨으로써, 이로 인해 공작물의 중심에서 반경방향 두께 균일성이 최대로 된다. 이어서, 제2 단계가 타겟 중심 부분에서 약한 반경방향 침식시 수행됨으로써, 공작물의 중심에서 반경방향 두께 균일성이 최소로 된다.
- [0019] 최종 반경방향 균일성은 2개의 단계의 시간 및/또는 전력의 적절한 선택에 의해 조절된다. 제1 단계에 사용된 전력 변조 함수는 공작물의 내측 부분에서 각도 균일성의 보정을 위해 최적화되고, 제2 단계는 외측 부분 및 에지에서 각도 균일성의 보정을 위해 최적화된 상이한 전력 변조 함수를 이용한다.
- [0020] 다른 실시예에 있어서, 주기적 전력 변조의 성분은 전력 공급원의 변조 없이 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 기준 필름에 비해 각도 주파수의 단일 고조파, 0의 위상 편이 및 사전 결정된 진폭을 이용하여 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 필름에 대해 측정된 두께의 각도 불균일성의 차이를 보정하도록 선택된 진폭을 포함한다.
- [0021] 다른 실시예에 있어서, 주기적 전력 변조의 성분은 전력 공급원의 변조 없이 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 기준 필름에 비해 각도 주파수의 단일 고조파, 0의 위상 편이 및 사전 결정된 진폭을 이용하여 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 필름에 대해 측정된 두께의 각도 불균일성의 차이를 보정하도록 선택된 위상 편이를 포함한다.
- [0022] 주기적 전력 변조의 성분은 전력 공급원의 변조 없이 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 기준 필름에 비해 각도 주파수의 단일 고조파, 0의 위상 편이 및 사전 결정된 진폭을 이용하여 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 필름에 대해 측정된 두께의 각도 불균일성의 차이를 보정하도록 선택된 진폭 및 위상 편이를 포함할 수 있다.
- [0023] 진술한 실시예들 중 하나에 따른 주기적 변조에 의해 증착된 필름의 두께 뿐만 아니라 기준 필름의 두께는 푸리에 적분법 또는 최소 자승 근사법 등의 기법에 의해 결정될 수 있다.
- [0024] 다른 실시예에 있어서, 소스에 적용되는 주기적 변조는 진폭과 위상 편이를 포함하는 전력 변조 보정 함수를 적용함으로써 결정된다. 전력 변조 보정 함수는 기준 전력 변조와 미분 전력 변조의 벡터합이다.
- [0025] 미분 전력 변조는 제1 필름과 기준 필름 간의 두께 차이를 측정함으로써 결정된다. 제1 필름은 각도 주파수의 고조파, 제1 위상 편이 및 제1 진폭을 이용하여 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 필름이다. 기준 필름은 상기 각도 주파수의 고조파, 기준 위상 편이 및 기준 진폭을 포함하는 기준 전력 변조를 이용하여 기관 상에 증착된 스퍼터링된 재료의 필름이다.
- [0026] 두께 파라미터 대신에, 필름의 불균일성은 또한 시트 저항 및 광학적 두께 등의 측정 가능한 파라미터를 이용하여 결정될 수 있다. 이들 파라미터는 적어도 부분적으로 스퍼터링된 재료의 필름의 물리적 두께에 종속한다.
- [0027] 다른 실시예에 있어서, 소스에 적용되는 전력 변조는 증착된 필름들 간의 측정된 차이가 아니라 계산에 결정되는 진폭 및 위상 편이를 포함하는 전력 변조 보정 함수를 포함한다.
- [0028] 전력 변조 보정 함수는 고조파 주파수에서 마그네트론의 모사된 2차원 침식 프로파일을 회전시키고 증착된 필름의 두께의 불균일성을 계산함으로써 결정될 수 있다. 이 불균일성과 두께 불균일성이 없는 이론적 필름 간의 차이가 전력 변조 보정 함수를 제공한다.
- [0029] 이하, 첨부 도면을 참조하여 실시예들을 설명하기로 한다.

발명의 효과

- [0030] 본 발명에 따르면, 개선된 두께 균일성을 갖도록 필름을 기관 상에 증착할 수 있는 마그네트론 스퍼터링 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0031] 도 1은 회전 가능한 자석을 포함하는 마그네트론 스퍼터링 장치의 개략도를 도시한다.
- 도 2는 도 1의 장치에 사용하기에 적절한 회전 가능한 자석을 도시한다.
- 도 3은 마그네트론 스퍼터링 장치용 전력 제어 시스템의 블럭도를 도시한다.
- 도 4는 마그네트론 스퍼터링 장치용 전력 제어 시스템의 개략도를 도시한다.
- 도 5a는 전력 변조 없이 증착된 Ta 필름에서 측정된 두께 균일성을 도시한다.

도 5b는 자석의 회전과 동기화된 전력 변조를 이용하여 증착된 Ta 필름에서 측정된 두께 균일성을 도시한다.

도 6은 자석의 각도 회전의 제1, 제2, 제3 및 제4 고조파에 대응하는 전력 변조에 의해 보정된 전력 레벨을 이용하여 증착된 Ta 필름에서 측정된 두께 균일성을 도시한다.

도 7은 전력 변조 없이 텅스텐 타겟에서 증착된 2개의 비교 필름에서 측정된 두께 균일성을 도시한다.

도 8은 회전식 자석과 동기화된 사인 전력 변조를 이용하여 증착된 AlN 비교 필름에서 측정된 두께 균일성을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 본 발명에 따른 마그네트론 스퍼터링 방법에 있어서, 소스 또는 타겟에 공급된 전력은 제1 고조파가 아닌 자석의 각도 회전의 고조파인 적어도 하나의 전력 변조 보정 성분을 포함하는 주기적 전력 변조를 포함한다.

[0033] 자석 회전의 각도 주파수는 ω 이고 전력 공급원의 시간 종속 변조는 f 이다. 통상적인 주파수 f 와 각도 주파수 ω 는 5 Hz이다. 전력 레벨의 제1 고조파는 $f = \omega$ 로 정의된다. 즉, 전력 레벨의 시간 종속 변조 주파수는 자석 회전의 각도 주파수와 동일하다. 전력 레벨의 제2 고조파 주파수는 2ω 이고, 전력 레벨의 제3 고조파 주파수는 3ω 이며, 그 다음의 고조파 주파수는 마찬가지로 방식이다.

[0034] 이하의 실시예들에 있어서, 주기적 전력 변조는 위상 편이(phase shift)가 있는 코사인 함수의 형태를 갖는다. 그러나, 위상 편이가 있는 사인 함수 또는 코사인 함수와 사인 함수의 합 또는 허수 편각(imaginary argument)이 있는 지수 함수가 또한 이용될 수 있다.

[0035] 인가될 주기적으로 변조되는 전력은 아래와 같이 결정된다.

[0036] 각도 ϕ 의 함수로서 공작물 또는 기관 가장자리에서 두께 함수용 푸리에 급수(Fourier series)는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$[0037] \text{AngularRim} = \text{ampRim}_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \text{ampRim}_n \cdot \cos(n \cdot \phi - \text{phaseRim}_n)$$

[0038] 여기서, ampRim_n 은 n 번째 고조파 주파수의 진폭이고, phaseRim_n 은 n 번째 고조파 주파수의 위상이며, ampRim_0 은 공작물 가장자리에서 평균 두께이다.

[0039] 유사하게, 자석 회전의 각도 주파수 ω 를 갖는 시간(t)의 일반적인 주기적 전력 변조 함수는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$[0040] \text{PowerCompFunction} = \text{ampPow}_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \text{ampPow}_n \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t - \text{phasePow}_n)$$

[0041] 여기서, ampPow_n 과 phasePow_n 은 n 번째 고조파 주파수의 진폭과 위상이고, ampPow_0 은 회전 주기에 걸쳐서 시간 평균 전력이다.

[0042] 실시예에 있어서, 전력 보정 함수는 아래와 같이 결정된다.

[0043] 1. 고조파 주파수의 개수를 n_{Max} 로 제한.

$$[0044] \text{PowerCompFunction} = \text{ampPow}_0 + \sum_{n=1}^{n_{\text{Max}}} \text{ampPow}_n \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t - \text{phasePow}_n)$$

[0045] 여기서, $n_{\text{Max}} > 1$, 통상적으로 $n_{\text{Max}} = 2$ 내지 $n_{\text{Max}} = 10$, 가장 바람직하게는 $n_{\text{Max}} = 4$.

[0046] 2. 반경(r)과 각도(ϕ)의 함수로서의 공작물 두께가 반경방향 종속 진폭[Amp(r)]과 순수한 각도 함수[Angular(ϕ)]의 곱과 반경방향 함수[Radial(r)]의 합이라고 가정.

$$[0047] \text{Thickness}(r, \phi) = \text{Radial}(r) + \text{Amp}(r) \cdot \text{Angular}(\phi), \text{ 여기서 } \text{Amp}(0) = 0$$

[0048] 3. 각도 함수[angular(ϕ)]의 형태를 가정.

[0049]
$$Angular(\phi) = \sum_{n=1}^{nMax} amp_n \cdot \cos(n \cdot \phi - phase_n)$$

[0050] 4. 반경방향 함수[Radial(r)과 Amp(r)]가 평균 전력(ampPow₀)에 선형으로 종속된다고 가정.

[0051] 5. n번째 고조파(n = 1 내지 nMax)의 진폭(amp_n)과 위상(phaseRim_n)이 전력 변조 함수의 대응하는 n번째 고조파 성분의 진폭(ampPow_n)과 위상(phasePow_n)에 종속하지만 전력 변조 함수의 다른 고조파 성분과 상관없다고 가정.

[0052] 함수 Angular(ϕ)는 공지된 반경방향 함수 Radial(r)과 Amp(r)에 대해 아래와 같이 결정될 수 있다.

[0053]
$$\frac{Thickness(r, \phi) - Radial(r)}{Amp(r)}$$

[0054] 반경방향 함수 Radial(r)는 실제 증착 속도 형태나 큐빅 스플라인과 같은 어떤 종류의 근사 함수를 나타내는 분석식이나 체비셰프(Chebyshev) 또는 르장드르(Legendre) 다항식과 같은 다항식 중 어느 하나를 사용한다. 반경방향 함수 Radial(r)의 계수는 최소 자승 근사법(least square approximation) 또는 직교 기저 함수의 경우에 적분법에 의해 측정된 데이터로부터 결정될 수 있다.

[0055] 유사하게, 함수 Angular(ϕ)가 각도 ϕ 의 주기 함수이기 때문에, 푸리에 분석에 의해 또는 최소 자승 근사법에 의해 n번째 고조파 주파수에 대한 파라미터 민감도 ampSens_n 및 angSens_n를 결정할 수 있다.

[0056] 함수 Amp(r)의 일례로서, 두께 r, ϕ 를 아래와 같이 나타낼 수 있도록 Amp(r) = r을 간단히 취할 수 있다.

[0057]
$$Thickness(r, \phi) = Radial(r) + r \cdot \sum_{n=1}^{nMax} amp_n \cdot \cos(n \cdot \phi - phase_n)$$

[0058] 실시예에서, 전력 변조 함수는 아래와 같이 구성된다.

[0059] 일정한 전력 ampPow₀만을 이용하여 공작물(W₀)이 어떠한 변조 없이 먼저 제조된다.

[0060] 이어서, 각 고조파 주파수(f_n)에 대해서, 모든 다른 고조파 주파수는 0의 변조 진폭을 갖는 상태에서 기지의(이 경우에, 0의) 위상 편이와 소정 진폭 ampPow_n을 이용하여 전력 변조 함수 $ampPow_0 + ampPow_n \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t)$ 에 의해 공작물(W_n)이 증착된다.

[0061] 이때에, 이하와 같은 형태로 공작물(W_n, W₀) 간의 두께차를 결정할 수 있다.

[0062]
$$ThicknessW_n - ThicknessW_0 = r \cdot (ampSens_n \cdot \cos(n \cdot \phi - angSens_n))$$

[0063] r > 0의 경우에 상대 두께차인

[0064] $\frac{1}{r} (ThicknessW_n - ThicknessW_0)$ 는 각도 ϕ 의 순수 함수이기 때문에, 전술한 바와 같이 푸리에 적분법에 의해 또는 최소 자승 근사법에 의해 n번째 고조파 주파수에 대한 파라미터 민감도 ampSens_n 및 angSens_n를 결정할 수 있다. 이 방식으로, 민감도 sens_n가 아래와 같이 결정된다.

[0065]
$$sens_n = ampSens_n / ampPow_n$$

[0066] 민감도 sens_n 및 angSens_n를 구했다면, 전력 보정 함수는 공작물(W₀)과 같이 어떠한 전력 변조 없이 증착된 공작물로부터 결정되는 amp_n 및 phase_n을 알고 있어 아래와 같이 구성될 수 있다.

[0067]
$$PowerCompFunction = ampPow_0 + \sum_{n=1}^{nMax} (-amp_n / sens_n) \cdot \cos(n \cdot \omega t - phase_n + angSens_n)$$

[0068] 각도 민감도는 아래의 식으로부터 얻는다.

- [0069] $angSens(n) = (phase(n)-phasePow(n))$
- [0070] 전력 변조 함수의 0 위상의 경우, $phasePow(n) = 0$ 이고, 이에 따라 $angSens(n) = (phase(n)-0)$ 이다.
- [0071] 이때, 진폭에 대한 마이너스 부호로 인해 보정 효과가 생긴다.
- [0072] 도 1은 본 발명에 따른 마그네트론 스퍼터링 방법을 수행하기에 적절한 장치(10)를 도시한다.
- [0073] 장치(10)는 회전 가능한 자석 조립체(12)와 타겟(13)을 갖는 마그네트론(11)과, 정해진 진폭과 위상을 갖는 제1 $nMax$ 고조파 함수(또는 적어도 그러한 함수에 근사함)의 고조파 컴포지션 형태의 주기적 전력 변조를 생성하는 수단(14)과, 자석 회전과 주기적 전력 변조의 위상 동기화를 가능하게 하는 동기화 톨(15)을 포함한다.
- [0074] 타겟(13)과 이 타겟(13)의 재료의 필름이 증착될 기관(16)은 서로 마주보는 상태로 진공 챔버(17) 내에 배치된다. 도 1의 구조에 있어서, 기관은 진공 챔버(17)의 베이스 상에 위치 결정되고 타겟(13)은 그 위에 위치 결정된다. 타겟(13)과 기관(16) 양자는 본 출원에서 설명된 실시예들에서 스퍼터링 중에 고정 상태로 유지된다.
- [0075] 진공 챔버(17)는 펌핑 수단(18)을 통해 탈기될 수 있고, 또한 작용 가스, 바람직하게는 아르곤을 위한 가스 라인(19)을 포함한다. 작용 마그네트론 스퍼터 코팅을 위한 작용 가스가 또한 진공 챔버(17) 내로 도입될 수 있다.
- [0076] 회전 가능한 자석 조립체(12)는 진공 챔버(17)의 외측에 그리고 타겟(13)이 위치 결정되는 타겟 백 플레이트(20)의 후방에 위치 결정된다. 자석의 회전축(A)은 타겟(13) 및 기관(16)의 중심과 동심이다.
- [0077] 회전 가능한 자석 조립체는 중심축(A)을 중심으로 구동되는 회전 이동 가능한 자석 캐리어 플레이트(12)를 포함하고, 자석 캐리어 플레이트에 대해 비대칭적으로 배치되는, 예컨대 도 2를 참조한 평면도에서 신장 모양인 영구 자석(22)의 구성을 갖는다. 자석 구성의 자석(22)은 R로 지시된 바와 같이 중심축(A) 둘레에서 각도 주파수 ω 로 회전될 수 있다.
- [0078] 제어 입력값(23s)으로 모터에 의해 발생하는 자석 조립체(12)의 회전 이동은 검출기 구성(23)에 의해 스캐닝된다. 검출기 유닛(23)의 스캐닝 펄스 I는 유닛(24)에서 설정 가능하게 시간 지연된 X이고, 출력측의 시간 지연된 펄스 I(τ)는 예컨대 주기적으로 변조된 신호(25)를 트리거하거나 동기화시킨다.
- [0079] 변조된 신호(25)의 주기적으로 변조된 신호 성분의 진폭 및 위상 편이는 생성기(26)에서의 추가의 제어 입력값 s로 설정된다.
- [0080] 도 2는 도 1에 도시된 회전 가능한 자석(22)의 평면도를 도시한다. 자석(22)의 형태는 타겟의 한쪽 반원에 거의 전체적으로 집중되는 침식 레이스트랙을 형성하는 자기 터널을 특징으로 한다. 이는 반경방향 균일성 조절과 전력 변조에 대한 보다 높은 민감도를 모두 가능하게 한다.
- [0081] 마그네트론 스퍼터링 방법은 스퍼터링 중에 소스에 공급되는 전력의 주기적 전력 변조를 제공한다. 구체적으로, 전력은 진폭과 위상 편이를 갖는 자석의 회전의 각도 주파수의 고조파인 주파수로 적시에 주기적으로 변조된다. 이는 도 3과 도 4에 도시된 전력 제어 장치를 이용하여 달성될 수 있다.
- [0082] 도 3은 본 명세서에 설명되는 실시예에 사용하기에 적절한 동기화와 전력 변조의 기구의 블럭도를 도시한다. 이 기구는 회전식 자석(22)을 갖는 마그네트론과, 마그네트론 회전을 위한 피드백 센서(23)와, 위상과 진폭을 설정할 수 있는 동기화된 고조파 신호 생성기(26)와, 전력을 조절하는 마그네트론 전력 공급원(27)을 포함한다.
- [0083] 상기 기구는 전력 라인과 함께 통신 및 데이터 흐름 라인이 도시된 도 4에 보다 상세히 나타나 있다. 증착 시스템은 회전 및 제어 시스템(12)과, 자석 시스템(22)과, 피드백 센서(23) 및 타겟(13)을 포함한다. 기구는 타겟(13)으로 인가되는 전력 공급원(27)과, 타겟(13)으로 공급되는 주기적으로 변조된 전력 레벨(25)의 시간 종속 주파수와 위상을 자석 시스템(22)의 각도 회전과 동기화된 것으로 가능하게 하는, 피드백 센서(23)와 전력 공급원(27)으로부터의 신호를 수신하는 전력 공급원 제어기(26)를 더 포함한다. 전력 공급원 제어기(26)는 또한 타겟(13)으로 공급되는 전력(25)의 변조의 진폭 및 주기적 변조의 형태, 예컨대 사인파 또는 코사인파를 제어한다.
- [0084] 이하의 실시예들에서는, 단일 웨이퍼 처리 톨, 구체적으로 300 mm 직경의 Ta 타겟을 갖는 캐소드 ARQ151을 이용하는 OC Oerlikon Coating으로부터의 클러스터라인(ClusterLine) II를 기관 상에 필름을 증착하는 데 사용한다. 이 장치는 도 3 및 도 4의 기구에 따른 전력 제어부와 회전 가능한 자석 제어부와, 도 5에 개략적으로 도시된 회전 가능한 자석을 포함한다.

- [0085] 필름은 다음 조건 하에서 증착되었다. 제1 고조파는 5 Hz의 주파수를 갖고, 변조되지 않은 설정 전력은 262 W와 0.76A에서 200 W이며, 130 sccm Ar 흐름과 70s의 증착 시간이 사용되었다. 주기적 변조의 진폭은 전력 설정 점, 즉 200 W의 비율로서 주어진다.
- [0086] 두께 균일성에 관하여 타겟에 인가되는 주기적으로 변조된 전력 공급원을 이용하는 효과와 전력 보정 함수를 갖는 주기적으로 변조된 전력 공급원을 이용하는 효과가 도 5 및 도 6에 도시되어 있다.
- [0087] 도 5a는 비교예를 도시하고 있는데, 구체적으로 전력 변조 없이 증착된 Ta 필름에 대해 측정된 두께 균일성을 도시한다. 두께 균일성은 $\pm 4.5\%$ 이다.
- [0088] 도 5b는 자석의 회전과 동기화된 전력 변조를 이용하여 증착된 Ta 필름에 대해 측정된 두께 균일성을 도시한다. 즉, 전력 변조는 자석 회전의 각도 주파수에 대응하는 주파수에서 수행되었다. 이를 제1 고조파라 부른다. 두께 균일성은 도 5a의 보정되지 않은 필름에 비해 약간의 개선을 보여주는 $\pm 3.7\%$ 이다.
- [0089] 도 6은 자석의 각도 회전의 제1, 제2, 제3 및 제4 고조파에 대응하는 전력 변조로 보정된 전력 레벨을 이용하여 증착된 Ta 필름에 대해 측정된 두께 균일성을 도시한다. 두께 균일성은 전력 변조 보정 함수가 제1 고조파를 위한 성분만을 포함하는 필름에 비해 개선된 $\pm 2.3\%$ 이다.
- [0090] 도 6에 도시된 필름을 스퍼터링할 때 사용된 전력 보정 함수는 분석에 의해, 구체적으로 4개의 제1 고조파 주파수의 민감도를 분석에 의해 결정함으로써 결정된다.

표 1

고조파 n	sens(%)	angSens(도)
1	35.5	358
2	14.2	110
3	2.66	64
4	2.63	16

[0092] 표 1은 이 실시예에서 200 W인 설정 전력 레벨의 10% 내지 40% 범위의 고조파 전력 변조를 이용하여 탄탈을 스퍼터링하는 경우에 결정되는 민감도를 보여준다. 예컨대, 전력 레벨은 10%의 변조의 경우에 180 W 내지 200 W이다. 각각의 경우에, 단일의 고조파만을 사용하였다.

[0093] 기관 상에 필름의 두께는 단일의 고조파의 주파수를 갖는 성분을 포함하는 주기적 전력 변조를 이용하여 스퍼터링된 필름과 전력 변조 없이 증착된 필름에 대해 선택된 반경 및 각도에서 측정되었다. 이 지점에서 2개의 필름 간의 두께차를 계산하고 민감도 sens 및 angular sensitivity(도)를 계산하도록 위에서 정의한 함수를 이용하였다.

표 2

분석		고조파-진폭(%)				균일성	
		제1	제2	제3	제4		
미보정	Ta 013	0.46	2.82	0.21	0.43		
보정	Ta 016	0.09	0.37	0.10	0.15		
부분 보정 대상							
제2 고조파만		0.45	0.34	0.12	0.55		
제1 및 제2 고조파만		0.07	0.34	0.15	0.55		
제3 및 제4 고조파만		0.55	2.74	0.01	0.01		
분석		고조파-위상(°)				균일성	
		제1	제2	제3	제4	STD/평균(%σ)	범위/평균(%)
미보정	Ta 013	132.4	299.5	129.3	47.3	2.01	8.94
보정	Ta 016	183.7	68.0	262.6	48.7	0.90	4.60
부분 보정 대상							
제2 고조파만		134.3	81.0	149.8	42.7	1.00	4.76
제1 및 제2 고조파만		342.8	75.6	153.2	44.8	0.97	4.83
제3 및 제4 고조파만		132.7	297.3	179.7	162.1	1.91	8.42

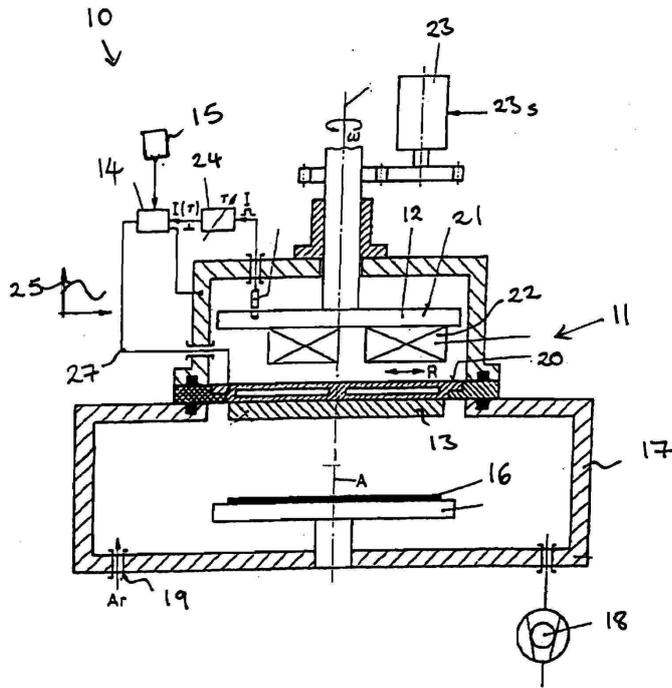
- [0094]
- [0095] 표 2는 모든 4개의 고조파를 전체적으로 갖거나 선택된 것만을 갖는 전력 보정된 것과 비교하여 보정되지 않은

Ta 증착된 웨이퍼를 분석한 것을 보여준다.

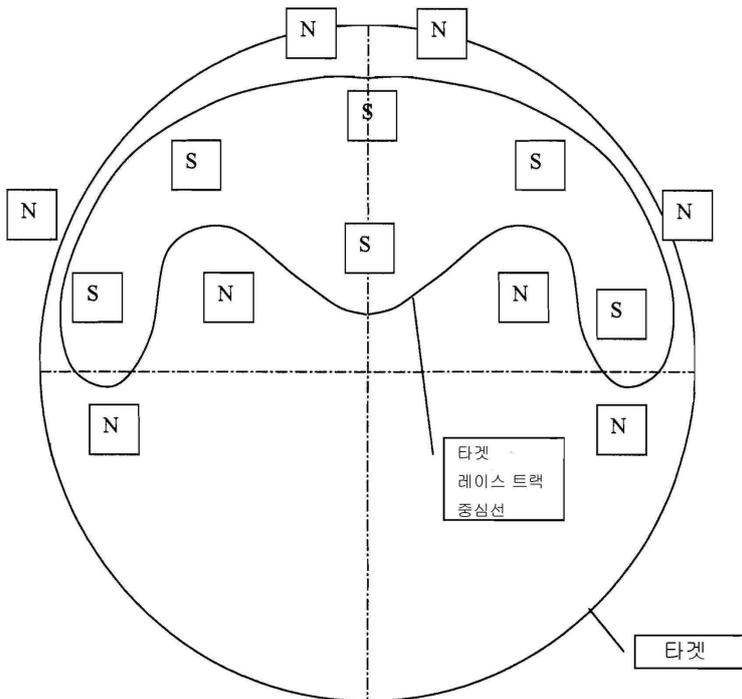
- [0096] 기관의 전면에 걸쳐 측정된 두께의 균일성은 지시된 고조파만을 위한 전력 보정 함수를 포함하는 전력 공급원을 이용하여 증착된 부분적으로 보정된 필름 뿐만 아니라, 전력 보정 없이 증착된 보정되지 않은 필름과, 4개의 제 1 고조파 주파수 각각을 위한 전력 보정 함수를 포함하는 전력 공급원을 이용하여 증착된 보정된 필름에 대해 주어진다.
- [0097] 표 2는 또한 필름에서 측정된 고조파의 진폭 및 위상의 값들을 나타낸다. 보정되지 않은 필름에 대해 주어진 값은 전력 보정된 함수에 의해 보정되어야 하는 진폭 및 위상의 값을 나타낸다.
- [0098] 0.90%와 4.60%의 평균 범위에 의해 설명되는 바와 같이 가장 높은 두께 균일성은 4개의 제1 고조파 주파수 각각에 대해 전력 보정 함수를 포함하는 전력 공급원을 이용하여 증착된 필름에서 관찰되었다.
- [0099] 제2 고조파는 웨이퍼 상에서 가장 높은 진폭을 가지므로, 가장 중요한 것이라고 예상할 수 있다. 실제로, 필름 균일성은 제2 고조파만의 균일성에 비해 제1 및 제2 고조파의 조합을 이용하여 거의 동일하게 유지된다. 제3 및 제4 고조파만을 사용했을 때, 균일성은 보정되지 않은 증착에 비해 약간만 개선된다. 그럼에도 불구하고, 웨이퍼는 제3 및 제4 고조파 양자의 진폭이 매우 낮게 0.01%로 떨어진다는 것이 증명된다.
- [0100] 모든 보정되지 않은 고조파의 진폭 및 위상은 원래의 증착에서와 거의 동일하게 유지된다. 이것은 마그네트론 전력을 변조할 때에 사용된 것과 동일한 공작물 상의 고조파에만 영향을 미친다는 가정이 정확하다는 것을 확인한다.
- [0101] 마그네트론 스퍼터링 방법은 탄탈 필름의 증착으로 제한되지 않는다. 임의의 실시예들의 방법은 또한 Al, Ti, W, Cr, Ru, Cu, Si, SiC, TiN, Fe의 강자성 합금, Co 및 Ni 뿐만 아니라 Au, Pt, Ag 등의 귀금속을 증착하는 데에도 이용될 수 있다. 상기 방법은 또한 TiN, AlN, Al₂O₃, ITO, PZT의 필름을 제조하는 반응성 스퍼터링에도 이용될 수 있다.
- [0102] 도 7 및 도 8은 제1 고조파 이외의 고조파 주파수를 갖는 적어도 하나의 성분을 포함하는 주기적 전력 보정 없이 증착된 필름의 다른 비교예들을 도시한다.
- [0103] 도 7은 전력 보정 없이 증착된 필름의 제1 비교예를 도시한다. 구체적으로, 도 7은 텅스텐 타겟으로 스퍼터링된 2개의 필름에 대해 측정된 두께를 도시한다. 제2 필름을 제조하기 위하여, 타겟은 제1 필름을 제조하는 데 사용된 타겟의 위치에 대해 시계 방향으로 45° 회전된다. 도 7은 필름의 불균일한 두께 분포가 타겟 회전과 함께 회전한다는 것을 보여준다.
- [0104] 도 8은 AlN 필름이 사인 함수로 변조된 전력을 이용하여 질소 분위기에서 알루미늄 타겟의 반응성 스퍼터링에 의해 증착된 제2 비교예를 도시한다. 변조 주파수는 마그네트론의 자석의 회전과 동기화된다.
- [0105] 도 8은 기관을 가로지르는 방향에서 경사 형태의 불균일한 두께 편차가 보정되었음을 보여준다. 그러나, 분포는 약 3시, 6시 및 10시에서 3개의 깊은 극소점을 갖는 방위각으로 배치된 불균일한 두께 편차를 포함한다.
- [0106] 상기 실시예들에서, 전력 보정 함수는 각 단일의 고조파의 두께 불균일성 분포를 보정되지 않은 필름과 비교함으로써 결정되었다. 그러나, 전력 변조 보정 함수는 또한 이하의 추가 실시예들 중 하나에 따라 결정될 수 있다.
- [0107] 민감도 $sens_n$ 및 $angSens_n$ 의 결정은 기하학적 형태 및 마그네트론 설계에 의해 주어진 공정에 대해 단 한번만 행해질 수 있다. 차후 이용시, 예컨대 동일한 재료이지만 다소 상이한 균질성을 갖는 새로운 타겟을 설치함으로써, 단일의 공작물(W_0)이 전력 보정 함수를 결정하는 데 충분하다.
- [0108] 그러나, 증착 장치의 몇몇 파라미터는 타겟 수명, 예컨대 깊이, 타겟 재결정화, 증착, 챔버의 내부 부품 상의 코팅 두께 등에 의한 타겟 결정 배향의 변화에 따라 느리게 변할 수 있다. 따라서, 최적의 전력 보정 함수도 느리게 변할 수 있다.
- [0109] 시간 경과에 따른 파라미터의 변화를 보정하기 위하여, 한가지 방법으로는 0의 변조를 갖는 시험 공작물을 이용하여 전술한 바와 같이 새로운 전력 보정 함수를 결정하는 것이 있다.
- [0110] 추가 실시예에 있어서, 시간 경과에 따른 증착 파라미터의 변화를 보정하기 위한 전력 보정 함수는 미분 측정을 기초로 하여 계산된다. 이 실시예에서, 마지막 공작물을 제조하는 데 사용된 진폭 및 위상을 알게 된다. 새로운 공작물이 제조되고, 미분 전력 보정 함수는 마지막 공작물과 새로운 공작물을 비교함으로써 결정될 수 있다.

도면

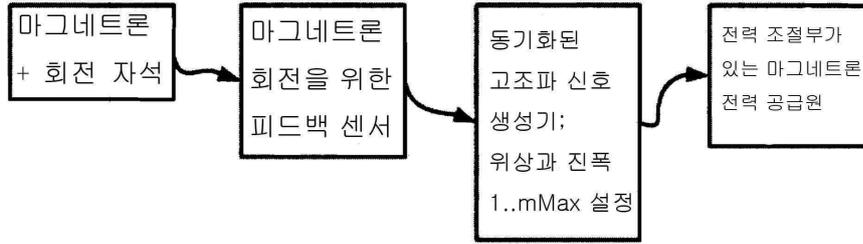
도면1



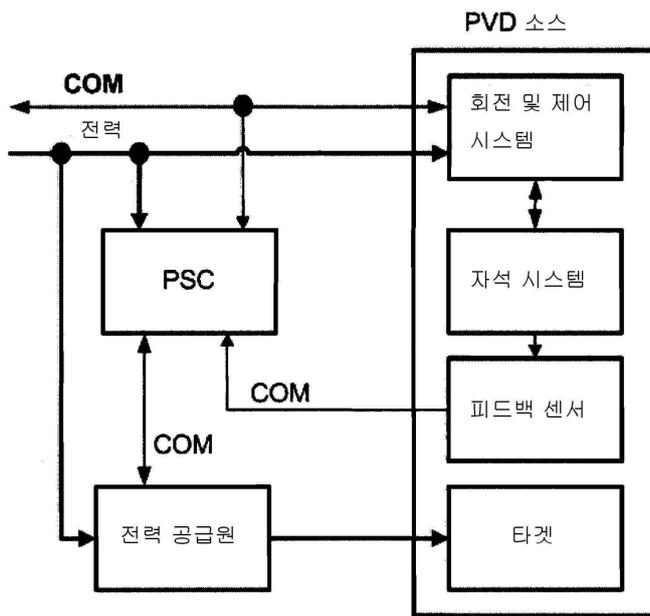
도면2



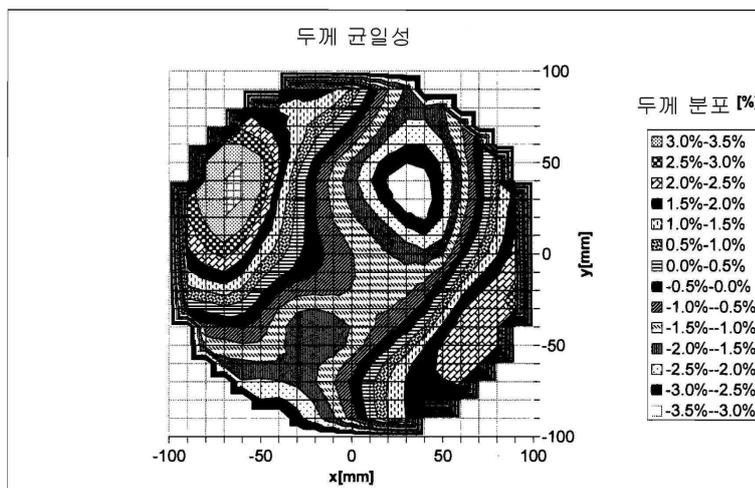
도면3



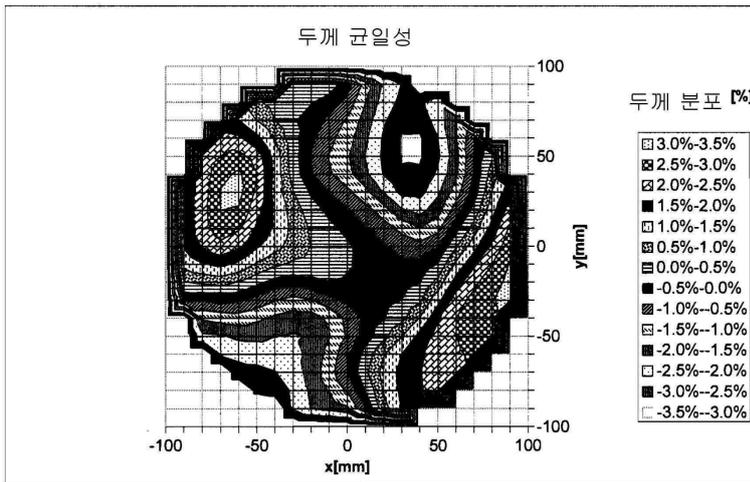
도면4



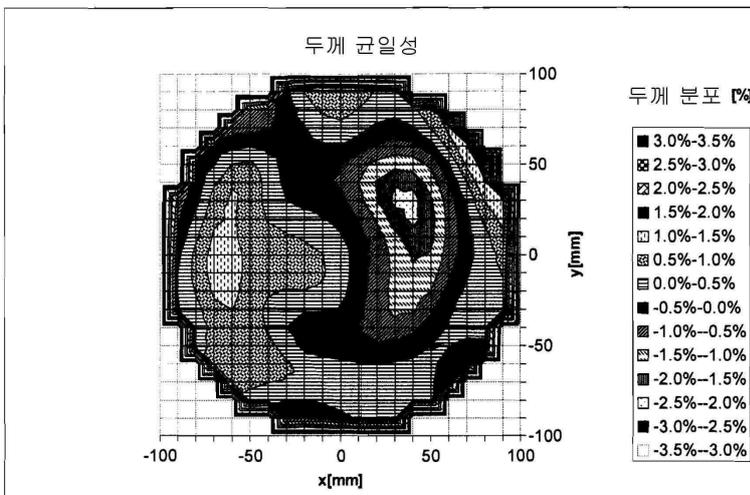
도면5a



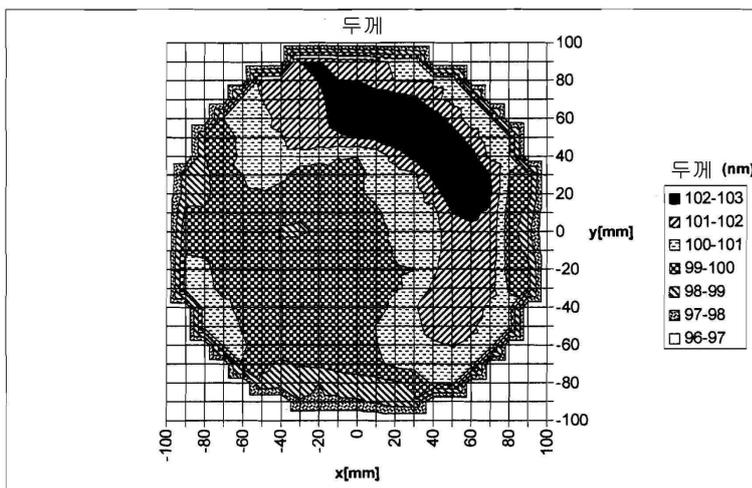
도면5b



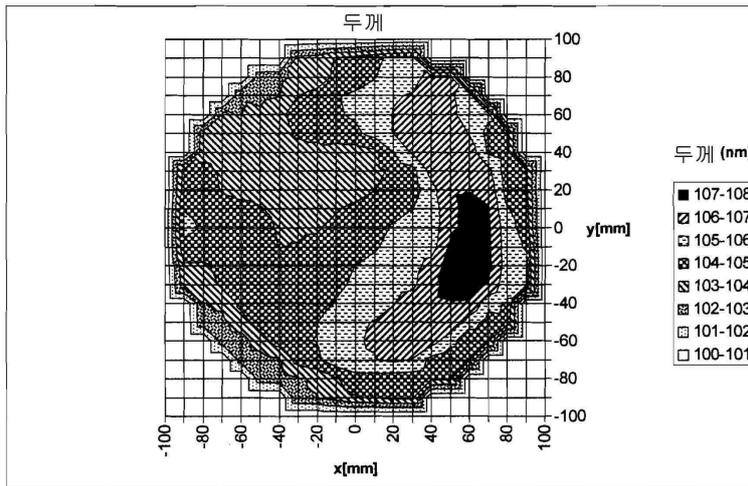
도면6



도면7a



도면7b



도면8

