



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2008-0017034  
 (43) 공개일자 2008년02월25일

- |  |  |
|--|--|
| (51) Int. Cl.<br>C03C 15/00 (2006.01) C03C 19/00 (2006.01)<br>(21) 출원번호 10-2007-7029277<br>(22) 출원일자 2007년12월14일<br>심사청구일자 없음<br>번역문제출일자 2007년12월14일<br>(86) 국제출원번호 PCT/JP2006/312372<br>국제출원일자 2006년06월14일<br>(87) 국제공개번호 WO 2006/135098<br>국제공개일자 2006년12월21일<br>(30) 우선권주장<br>JP-P-2005-00173505 2005년06월14일 일본(JP) | (71) 출원인<br>아사히 가라스 가부시키키가이샤<br>일본 도쿄도 치요다쿠 유라쿠초 1-12-1<br>(72) 발명자<br>오쯔까, 고지<br>일본 1008405 도쿄도 치요다쿠 유라쿠초 1-12-1<br>아사히 가라스가부시키키가이샤 내<br>(74) 대리인<br>이석재, 장수길 |
|--|--|

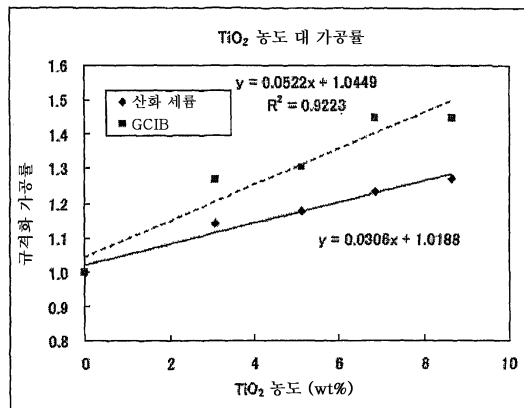
전체 청구항 수 : 총 12 항

**(54) 예비 연마된 유리 기판 표면을 마무리 가공하는 방법**

**(57) 요약**

본 발명은 예비 연마 동안 유리 기판 표면에 발생한 기복을 제거하여, 유리 기판을 매우 평탄한 표면을 갖도록 마무리 가공하는 방법을 제공하는 것이다. 본 발명은 예비 연마된 유리 기판 표면을 마무리 가공하는 방법에 관한 것으로서, 상기 유리 기판은, 도펀트를 함유하고 SiO<sub>2</sub>를 주성분으로 포함하는 석영 유리제이고, 상기 마무리 가공 방법은 유리 기판에 함유되는 도펀트의 농도 분포를 측정하는 공정 및 예비 연마된 상태의 유리 기판의 표면 형상을 측정하는 공정을 포함하고, 상기 도펀트의 농도 분포 및 유리 기판의 표면 형상 측정 결과에 기초하여 상기 유리 기판 표면의 가공 조건을 유리 기판의 각 부위에 설정하는, 예비 연마된 유리 기판 표면을 마무리 가공하는 방법에 관한 것이다.

**대표도** - 도1



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

예비 연마된 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법으로서,

상기 유리 기관은, 도펀트를 함유하고 SiO<sub>2</sub>를 주성분으로 포함하는 석영 유리체이고,

상기 마무리 가공 방법은

유리 기관에 함유되는 도펀트의 농도 분포를 측정하는 공정, 및

예비 연마된 상태의 유리 기관의 표면 형상을 측정하는 공정을 포함하고,

상기 도펀트의 농도 분포 및 유리 기관의 표면 형상 측정 결과에 기초하여 상기 유리 기관 표면의 가공 조건을 유리 기관의 각 부위에 설정하는, 예비 연마된 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 유리 기관에 함유되는 도펀트 농도와 유리 기관 표면의 가공률 사이의 상관관계를 미리 구하여 두고,

상기 도펀트 농도 분포의 측정 결과 및 상기 도펀트 농도와 가공률 사이의 상관관계에 기초하여 상기 유리 기관 표면의 가공 조건을 유리 기관의 각 부위에 설정하는, 예비 연마된 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법.

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 유리 기관의 표면 형상 측정 결과로부터 유리 기관 표면의 평탄도를 구하고,

상기 유리 기관 표면의 평탄도에 기초하여 상기 유리 기관 표면의 가공 조건을 유리 기관의 각 부위에 설정하는, 예비 연마된 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법.

### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 유리 기관 표면의 가공이 이온빔 에칭, 가스 클러스터 이온빔 에칭, 플라즈마 에칭, 나노 어브레이션 및 MRF (자기 유변 마무리 공정)로 이루어진 군으로부터 선택되는 가공 기술에 의해 실시되는, 예비 연마된 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법.

### 청구항 5

제4항에 있어서, 상기 가공 기술이 이온빔 에칭, 가스 클러스터 이온빔 에칭 또는 플라즈마 에칭이고,

상기 유리 기관의 표면 형상 측정 결과로부터 유리 기관 표면에 존재하는 기복의 폭을 특정하여, 직경이 FWHM (반치폭; full width of half maximum)값으로 상기 기복의 폭 이하인 빔으로 가공을 행하는, 예비 연마된 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법.

### 청구항 6

제5항에 있어서, 상기 빔 직경이 FWHM값으로 상기 기복의 폭의 1/2 이하인, 예비 연마된 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법.

### 청구항 7

제4항 또는 제5항에 있어서, 상기 가공 기술이 가스 클러스터 이온빔 에칭인, 예비 연마된 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법.

### 청구항 8

제5항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가스 클러스터 이온빔 에칭이 SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 혼합 가스, SF<sub>6</sub>/Ar/O<sub>2</sub> 혼합 가스, NF<sub>3</sub>/O<sub>2</sub> 혼합 가스, NF<sub>3</sub>/Ar/O<sub>2</sub> 혼합 가스, NF<sub>3</sub>/N<sub>2</sub> 혼합 가스 및 NF<sub>3</sub>/Ar/N<sub>2</sub> 혼합 가스로 이루어진 군으로부터 선택되는 가스원을 사용하여 실시되는, 예비 연마된 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법.

**청구항 9**

제8항에 있어서, 상기 가스원이 SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 혼합 가스, SF<sub>6</sub>/Ar/O<sub>2</sub> 혼합 가스, NF<sub>3</sub>/O<sub>2</sub> 혼합 가스 및 NF<sub>3</sub>/Ar/O<sub>2</sub> 혼합 가스로 이루어진 군으로부터 선택되는, 예비 연마된 유리 기판 표면을 마무리 가공하는 방법.

**청구항 10**

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 유리 기판이 20 °C에서의 열팽창계수가 0±30 ppb/°C인 저팽창 유리를 포함하는, 예비 연마된 유리 기판 표면을 마무리 가공하는 방법.

**청구항 11**

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 도펀트가 TiO<sub>2</sub>인, 예비 연마된 유리 기판 표면을 마무리 가공하는 방법.

**청구항 12**

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 예비 연마된 상태의 유리 기판의 표면 조도 (Rms)가 5 nm 이하인, 예비 연마된 유리 기판 표면을 마무리 가공하는 방법.

**명세서**

**기술분야**

<1> 본 발명은 예비 연마된 유리 기판 표면의 마무리 가공 방법에 관한 것이다. 더 구체적으로는, 본 발명은 반도체 소자 제조 공정의 EUV (극단 자외) 리소그래피용 반사형 마스크로서 사용되는 유리 기판과 같이, 고도의 평탄도를 가질 것이 요구되는 유리 기판의 표면을 마무리 가공하는 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

<2> 리소그래피에 있어서는, 웨이퍼 상에 미세한 회로 패턴을 전사하여 집적 회로를 제조하기 위한 리소그래피 노광 장치가 널리 사용되어 왔다. 집적 회로의 고집적화, 고속화 및 고기능화에 대한 경향에 따라 집적 회로의 미세화가 진행되어, 리소그래피 노광 장치에는 깊은 초점 심도를 가짐으로써 고해상도의 회로 패턴 이미지를 웨이퍼 표면 상에 형성시키는 것이 요구되었다. 노광 광원의 파장은 단파장화되고 있다. 노광 광원으로서, 종래에 사용되던 g-선 (파장 436 nm), i-선 (파장 365 nm) 및 KrF 엑시머 레이저 (파장 248 nm) 대신, ArF 엑시머 레이저 (파장 193 nm)가 사용되기 시작하고 있다. 또한, 100 nm 이하의 선폭을 갖는 차세대 집적 회로에 대응하기 위한 노광 광원으로서 F<sub>2</sub> 레이저 (파장 157 nm)를 사용하는 것이 유력시되고 있다. 그러나, 상기 광원으로 커버할 수 있는 세대는 70 nm까지의 선폭을 갖는 것에 제한되는 것으로 여겨진다.

<3> 이러한 기술 동향 하에, 차세대 노광 광원으로서 EUV광을 사용한 리소그래피 기술이 45 nm 및 그보다 미세한 선폭의 세대에 적용될 수 있다고 생각되어 주목받고 있다. EUV광은 연 X-선 영역 또는 진공 자외선의 파장을 갖는 광을 의미한다. 구체적으로는, 약 0.2 내지 100 nm의 파장을 갖는 광이다. 현시점에서는, 13.5 nm의 리소그래피 광원의 사용이 검토되고 있다. 상기 EUV 리소그래피 (이하 "EUVL"이라 약칭함)에서의 노광 원리는, 투영 광학계로 마스크 패턴을 전사하는 종래의 리소그래피에서와 동일하다. 그러나, EUV광 에너지 영역에서는 광을 투과하는 재료가 없기 때문에, 굴절 광학계를 사용할 수 없고, 반사 광학계를 사용해야 한다 (하기 특허 문헌 1 참조).

<4> EUVL에 사용되는 마스크는 기본적으로 (1) 유리 기판, (2) 유리 기판 상에 형성된 반사 다층막 및 (3) 반사 다층막 상에 형성된 흡수체층으로 구성된다. 반사 다층막으로서, 노광 광의 파장에서 굴절률이 상이한 재료를 nm 오더 두께로 주기적으로 적층하여 형성시킨 구조를 갖는 막이 사용된다. 대표적인 재료로는 몰리브덴 및 규소가 알려져 있다. 흡수체층에 대한 재료로는 탄탈 및 크롬이 검토되고 있다. 유리 기판은 EUV 조사 하에서도 뒤틀리지 않도록 낮은 열팽창계수를 갖는 재료일 것이 요구된다. 낮은 열팽창계수를 갖는 유리 또는 낮은 열팽창계수를 갖는 결정화 유리의 사용이 검토되고 있다. 이하, 본 명세서에서는 낮은 열팽창계수를 갖는 유리 및 낮은 열팽창계수를 갖는 결정화 유리를 총칭하여 "저팽창 유리" 또는 "초저팽창 유리"라 한다.

<5> EUVL 마스크에 가장 널리 사용되는 저팽창 유리 또는 초저팽창 유리는, SiO<sub>2</sub>를 주성분으로 포함하고, 열팽창계

수를 낮추기 위해서  $TiO_2$ ,  $SnO_2$  또는  $ZrO_2$ 를 도펀트로서 함유하는 석영 유리이다.

<6> 유리 기판은 이러한 유리 또는 결정화 유리 재료를 고정밀 가공하여 세정함으로써 제조된다. 유리 기판은 일반적으로 하기 방식으로 가공된다. 유리 기판의 표면을 표면이 소정의 평탄도 및 표면 조도를 갖게 될 때까지 비교적 높은 가공률로 예비 연마한다. 그 후, 가공 정밀도가 보다 높은 방법으로, 또는 가공 정밀도가 보다 높아지도록 하는 가공 조건 하에서, 유리 기판 표면을 원하는 평탄도 및 표면 조도로 되도록 마무리 가공한다.

<7> 특허 문헌 1: JP-T-2003-505891

**발명의 상세한 설명**

<8> EUVL 마스크에 사용되는 유리 기판을 가공할 때, 상기 가공은 유리 기판 표면에 부분적인 기복을 발생시키는 경우가 있다. 본 발명자들은 이러한 기복의 발생이 유리 기판의 부분적인 조성 차, 보다 구체적으로는 유리 기판 중에 함유된 도펀트의 농도 분포에 기인하는 것을 발견하였다. 예비 연마 및 마무리 가공 중 임의의 것이 유리 기판 표면에 기복을 발생시킬 수 있다. 그러나, 가공률이 높은 예비 연마가 유리 기판 표면에 보다 큰 기복을 발생시킬 가능성이 있다. 예비 연마가 큰 기복을 발생시킨 경우, 마무리 가공에서 기복을 제거하여 유리 기판 표면에 원하는 평탄도를 부여하는 것은 곤란하였다. 또한, 예비 연마에 의해 발생한 기복이 마무리 가공 동안 보다 큰 기복으로 성장하는 경우도 있다.

<9> 본 발명의 목적은, 예비 연마 동안 유리 기판 표면에 발생한 기복을 제거하여, 유리 기판을 매우 평탄한 표면을 갖도록 마무리 가공하는 방법을 제공함으로써 상기한 문제점을 해결하는 것이다.

<10> 상기 목적을 달성하기 위해서, 본 발명은 예비 연마된 유리 기판 표면을 마무리 가공하는 방법으로서, 상기 유리 기판은, 도펀트를 함유하고  $SiO_2$ 를 주성분으로 포함하는 석영 유리체이고, 상기 마무리 가공 방법은 유리 기판에 함유되는 도펀트의 농도 분포를 측정하는 공정 및 예비 연마된 상태의 유리 기판의 표면 형상을 측정하는 공정을 포함하고, 상기 도펀트의 농도 분포 및 유리 기판의 표면 형상 측정 결과에 기초하여 상기 유리 기판 표면의 가공 조건을 유리 기판의 각 부위에 설정하는, 예비 연마된 유리 기판 표면을 마무리 가공하는 방법(이하, 상기 방법을 "본 발명의 마무리 가공 방법"이라 함)을 제공한다.

<11> 본 발명의 마무리 가공 방법에서는, 유리 기판에 함유되는 도펀트의 농도와 유리 기판 표면의 가공률 사이의 상관관계를 미리 구하여 두고, 상기 도펀트 농도 분포의 측정 결과 및 상기 도펀트 농도와 가공률 사이의 상관관계에 기초하여 상기 유리 기판 표면의 가공 조건을 유리 기판의 각 부위에 설정하는 것이 바람직하다.

<12> 본 발명의 마무리 가공 방법에서는, 상기 유리 기판의 표면 형상 측정 결과로부터 유리 기판 표면의 평탄도를 구하고, 상기 유리 기판 표면의 평탄도에 기초하여 상기 유리 기판 표면의 가공 조건을 유리 기판의 각 부위에 설정하는 것이 바람직하다.

<13> 본 발명의 마무리 가공 방법에 있어서, 유리 기판 표면의 가공은 이온빔 에칭, 가스 클러스터 이온빔 에칭, 플라즈마 에칭, 나노 어브레이전 및 MRF (자기 유변 마무리 공정)로 이루어진 군으로부터 선택되는 가공 기술에 의해 실시하는 것이 바람직하다.

<14> 본 발명의 마무리 가공 방법에 있어서, 상기 가공 기술은 이온빔 에칭, 가스 클러스터 이온빔 에칭 또는 플라즈마 에칭이고, 상기 유리 기판의 표면 형상 측정 결과로부터 유리 기판 표면에 존재하는 기복의 폭을 특정하여, 직경이 FWHM (반치폭; full width of half maximum)값으로 상기 기복의 폭 이하인 빔으로 가공을 행하는 것이 바람직하다.

<15> 바람직하게는, 상기 빔 직경은 FWHM값으로 상기 기복의 폭의 1/2 이하이다.

<16> 본 발명의 마무리 가공 방법에 있어서, 상기 가공 기술은 가스 클러스터 이온빔 에칭인 것이 바람직하다.

<17> 상기 가스 클러스터 이온빔 에칭의 가스원으로서,  $SF_6/O_2$  혼합 가스,  $SF_6/Ar/O_2$  혼합 가스,  $NF_3/O_2$  혼합 가스,  $NF_3/Ar/O_2$  혼합 가스,  $NF_3/N_2$  혼합 가스 및  $NF_3/Ar/N_2$  혼합 가스로 이루어진 군으로부터 선택되는 혼합 가스를 사용하는 것이 바람직하다.

<18> 가스원은  $SF_6/O_2$  혼합 가스,  $SF_6/Ar/O_2$  혼합 가스,  $NF_3/O_2$  혼합 가스 및  $NF_3/Ar/O_2$  혼합 가스로 이루어진 군으로부터 선택되는 혼합 가스인 것이 보다 바람직하다.

<19> 본 발명의 마무리 가공 방법에 있어서, 상기 유리 기판은 20 °C에서의 열팽창계수가  $0 \pm 30$  ppb/°C인 저팽창 유

리를 포함하는 것이 바람직하다.

- <20> 본 발명의 마무리 가공 방법에 있어서, 상기 도펀트는 TiO<sub>2</sub>인 것이 바람직하다.
- <21> 본 발명의 마무리 가공 방법에 있어서, 상기 예비 연마된 상태의 유리 기판의 표면 조도 (Rms)는 5 nm 이하인 것이 바람직하다.
- <22> 본 발명의 마무리 가공 방법에서는, 유리 기판에 함유되는 도펀트의 농도 분포 및 예비 연마된 상태의 유리 기판의 표면 형상을 측정하고, 그 측정 결과에 기초하여 유리 기판 표면의 가공 조건을 유리 기판의 각 부위에 설정한다. 이 때문에, 예비 연마 동안 유리 기판 표면에 발생한 기복을 효과적으로 제거할 수 있다. 또한, 유리 기판에 함유되는 도펀트의 농도 분포 측정 결과에 기초하여 유리 기판 표면의 가공 조건을 유리 기판의 각 부위에 설정하기 때문에, 마무리 가공이 유리 기판 표면에 새롭게 기복을 발생시키거나 예비 연마 시에 발생한 기복이 마무리 가공 동안 성장할 가능성이 없다.
- <23> 본 발명의 마무리 가공 방법을 사용함으로써, 유리 기판을 우수한 평탄도의 표면을 갖도록 마무리 가공할 수 있다. 따라서, 예를 들면 선폭이 45 nm 이하인 차세대 반도체 소자 제조용 리소그래피 노광 장치의 광학 부품용 기판에도 대응할 수 있는, 우수한 평탄도를 갖는 유리 기판을 얻을 수 있다.

**실시예**

- <112> 하기 실시예를 참고로 본 발명을 보다 상세하게 설명할 것이지만, 본 발명을 이에 한정되는 것으로 해석해서는 안 된다.
- <113> 가공할 재료로서, 공지의 방법으로 제조한 TiO<sub>2</sub> 도핑된 석영 유리 (TiO<sub>2</sub> 7 질량%로 도핑)의 잉곳을 준비하였다. 이 잉곳을 내주도를 사용하여 길이 153.0 mm, 폭 153.0 mm 및 두께 6.75 mm의 판 형태로 절단하였다. 이에 따라, TiO<sub>2</sub> 도핑된 석영 유리체의 판 샘플이 제조되었다. 이어서, 이들 샘플을 시판의 NC 면취기에서 #120의 다이아몬드 지립을 사용하여 외경이 152 mm이고 면취 폭이 0.2 내지 0.4 mm가 되도록 면취하여 유리 기판 샘플을 얻었다.
- <114> 유리 기판 샘플을 TiO<sub>2</sub> 농도 분포에 대해 X-선 형광 분석으로 검사하였다. 도 2는 유리 기판 샘플의 대각 방향에 따른 TiO<sub>2</sub> 농도 분포를 나타낸 그래프이다. 그래프의 횡축은 기판 중심으로부터의 거리를 나타낸다.
- <115> 도 2에 나타낸 TiO<sub>2</sub> 농도 분포를 갖는 유리 기판 샘플을 예비 연마로서 기계 연마한 경우의 예상 가공량 분포를 하기 수학적 1b를 사용하여 계산하였다. 계산 시, TiO<sub>2</sub> 농도 7 질량%에 대한 가공량을 5 μm (기준 가공량)로 설정하였다.
- <116> <수학적 1b>
- <117>  $Y = 0.0306X + 1.0188$
- <118> X: 도펀트 농도 (중량%)
- <119> Y: 연마율 (μm/분)
- <120> 도 3은 상기 수순으로 얻어진 예상 가공량 분포를 나타낸 그래프이다. 도 4는 예비 연마 후의 유리 기판 샘플의 대각 방향에 따른 예상 단면 프로파일을 나타낸 그래프로서, 이 그래프는 기준 가공량 5 μm로부터 도 3에 나타낸 예상 가공량을 뺀 결과이다. 도 3 및 도 4에서, 각 그래프의 횡축은 기판 중심으로부터의 거리를 나타낸다.
- <121> 상기한 유리 기판 샘플을 산화 세척으로 기계 연마함으로써 예비 연마하였다. 연마재, 연마 패드 및 연마 장치는 도 1에 나타낸 결과를 얻는 데 사용한 것과 동일하였다. 사용한 가공률 및 가공 시간은 TiO<sub>2</sub> 농도가 7 질량%인 도핑된 석영 유리에 대한 가공량이 5 μm가 되도록 한다.
- <122> 예비 연마 후, 유리 기판 샘플의 표면을 간섭식 평탄도계 (피조형 레이저 간섭식 평탄도 측정 장치 G310S (후지논사 제조))로 검사하였다. 검사 결과로부터 유리 기판 샘플의 표면 형상을 작성하여 도 5에 나타내었다. 기계 연마된 유리 기판의 표면 형상에 있어서, 장주기 기복의 형상 및 주변부의 침하는 사용한 연마 패드의 특성, 기계 연마에 대한 가공 조건 등에 의존한다. 그러므로, 3차 수차 함수의 근사, 및 틸트, 파워, 비점수차, 코마 수차 및 구면 수차의 제거를 통해 유리 기판 샘플의 대각 방향 단면 프로파일을 얻어 도 6에 나타내었다. 도 6

에서, 그래프의 횡축은 기판 중심으로부터의 거리를 나타낸다.

- <123> 도 4와 도 6 사이의 비교로부터 명백한 바와 같이, 예비 연마 후의 예상 단면 프로파일은, 실제 기계 연마 후 구한 단면 프로파일과, 요철 (기복)이 존재하는 위치 및 그의 높이에 있어서 매우 잘 일치하였다.
- <124> 도 4에 나타낸 상태로부터 가스 클러스터 이온빔 에칭에 의한 마무리 가공 후의 유리 기판 샘플의 대각 방향에 따른 예상 단면 프로파일을 작성하였다.
- <125> 구체적으로는, 도 2에 나타낸 TiO<sub>2</sub> 농도 분포를 갖는 유리 기판 샘플을 가스 클러스터 이온빔 에칭 방법에 의해 마무리 가공한 경우의 예상 가공량 분포를 하기 수학적 식 1a를 사용하여 계산하였다. 계산 시, TiO<sub>2</sub> 농도 7 질량 %에 대한 가공량을 0.8 μm (기준 가공량)로 설정하였다.
- <126> <수학적 식 1a>
- <127>  $Y = 0.0522X + 1.0449$
- <128> X: 도펀트 농도 (중량%)
- <129> Y: 가공률 (μm/분)
- <130> 이어서, 도 4에 나타낸 예상 단면 프로파일로부터 상기 수순으로 얻은 예상 가공량을 뺀 결과에 기초하여 마무리 가공 후의 유리 기판의 예상 단면 프로파일을 작성하였다. 도 7은 마무리 가공 후의 유리 기판의 예상 단면 프로파일 (대각 방향)을 나타낸 그래프이다. 도 7에서, 그래프의 횡축은 기판 중심으로부터의 거리를 나타낸다.
- <131> 한편, 상기 수순으로 예비 연마한 유리 기판 샘플을 추가로 가스 클러스터 이온빔 에칭에 의해 마무리 가공하였다. 가스 클러스터 이온빔 에칭에 대한 조건은 도 1에 나타낸 결과를 얻는 데 사용한 조건과 동일하였다. 사용한 가공률 및 가공 시간은 TiO<sub>2</sub> 농도가 7 질량%인 도핑된 석영 유리에 대한 연마량이 0.8 μm가 되도록 한다.
- <132> 마무리 가공을 거친 유리 기판 샘플의 표면을 간섭식 평탄도계로 검사하였다. 얻어진 검사 결과를, 3차 수차 함수를 근사하고, 틸트, 파워, 비점수차, 코마 수차 및 구면 수차를 제거함으로써 처리하였다. 이로써 얻어진 유리 기판 샘플의 대각 방향 단면 프로파일을 도 8에 나타내었다. 도 8에서, 그래프의 횡축은 기판 중심으로부터의 거리를 나타낸다.
- <133> 도 7과 도 8 사이의 비교로부터 명백한 바와 같이, 마무리 가공 후의 예상 단면 프로파일은, 실제 마무리 가공 후 구한 단면 프로파일과, 요철이 존재하는 위치 및 그의 높이에 있어서 매우 잘 일치하였다.
- <134> 상기 결과로부터 명백한 바와 같이, 예비 연마를 거친 유리 기판 표면은 유리 기판의 도펀트 농도 분포에 기인하는 기복을 갖는다. 이 기복을 마무리 가공에 의해 완전히 제거하는 것은 불가능하였다. 그러나, 기복의 위치 및 높이는 도펀트 농도 분포 및 도펀트 농도와 가공률 사이의 상관으로부터 얻어진 예상 값과 매우 잘 일치한다.
- <135> 본 발명의 마무리 가공 방법에서는, 상기 측정 공정 1 및 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초하여 유리 기판 가공 조건을 설정한다. 이에 따라, 상기 방법은 예비 연마 동안 발생한 기복을 완전히 제거하여, 유리 기판 표면을 우수한 평탄도를 갖도록 가공할 수 있다고 생각된다.
- <136> 본 발명을 그의 특정 실시 양태를 참고하여 상세히 기재하였지만, 당업자라면 그의 취지 및 범위에서 벗어나지 않는 한 여기에 다양한 수정 및 변경을 가할 수 있음이 명백할 것이다.
- <137> 본 출원은 2005년 6월 14일에 출원된 일본 특허 출원 제2005-173505호에 기초한 것이며, 그의 내용은 본원에 참고로 포함된다.

**산업상 이용 가능성**

- <138> 본 발명의 마무리 가공 방법을 사용함으로써, 유리 기판을 우수한 평탄도의 표면을 갖도록 마무리 가공할 수 있다. 따라서, 예를 들면 선폭이 45 nm 이하인 차세대 반도체 소자 제조용 리소그래피 노광 장치의 광학 부품용 기판에도 대응할 수 있는, 우수한 평탄도를 갖는 유리 기판을 얻을 수 있다.

**도면의 간단한 설명**



- <24> 도 1은 도펀트로서  $TiO_2$ 를 함유한 도핑된 석영 유리에 있어서, 도펀트 농도와 가공률 사이의 상관을 나타낸 그래프이다.
- <25> 도 2는 실시예의 유리 기관 샘플의  $TiO$  농도 분포 (대각 방향)를 나타낸 그래프이다.
- <26> 도 3은 실시예의 유리 기관 샘플에 대한 예비 연마 시의 예상 가공량을 나타낸 그래프이다.
- <27> 도 4는 예비 연마 후 실시예의 유리 기관 샘플의 예상 단면 프로파일 (대각 방향)을 나타낸 그래프이다.
- <28> 도 5는 예비 연마된 유리 기관 표면을 간접식 평탄도계로 검사한 결과로부터 얻어진, 예비 연마를 거친 실시예의 유리 기관 샘플의 표면 형상을 나타낸다.
- <29> 도 6은 예비 연마된 실시예의 유리 기관 샘플의 단면 프로파일 (대각 방향)을 나타낸 그래프이다.
- <30> 도 7은 마무리 가공 후 실시예의 유리 기관 샘플의 예상 단면 프로파일 (대각 방향)을 나타낸 그래프이다.
- <31> 도 8은 마무리 가공된 실시예의 유리 기관 샘플의 단면 프로파일 (대각 방향)을 나타낸 그래프이다.
- <32> <발명을 실시하기 위한 최선의 형태>
- <33> 본 발명의 마무리 가공 방법은 예비 연마를 거친 유리 기관 표면을 마무리 가공하는 방법이다. 보다 구체적으로는, 예비 연마 동안 유리 기관 표면에 발생한 기복을 제거하여, 유리 기관을 평탄도가 우수한 표면을 갖도록 마무리 가공하는 방법이다.
- <34> 예비 연마는 유리 기관 표면을 소정의 평탄도 및 표면 조도까지 가공하기 전에, 비교적 높은 가공률로 어느 정도의 평탄도 및 표면 조도까지 가공하는 수순이다. 예비 연마된 유리 기관은 소정의 평탄도 및 표면 조도를 갖도록 마무리 가공된다.
- <35> 예비 연마된 상태의 유리 기관의 표면 조도 (Rms)는 5 nm 이하인 것이 바람직하고, 1 nm 이하인 것이 보다 바람직하다. 본 명세서에서, 용어 "표면 조도"는 원자간력 현미경으로 1 내지  $10 \mu m^2$  면적을 검사함으로써 측정된 표면 조도를 의미한다. 예비 연마된 유리 기관의 표면 조도가 5 nm를 초과하는 경우에는, 본 발명의 마무리 가공 방법에 의한 유리 기관 표면의 마무리 가공에 상당한 시간을 필요로 하게 되어 비용 증가의 요인이 된다.
- <36> 예비 연마에 사용되는 가공 기술은 특별히 한정되지는 않고, 유리 표면 가공에 대한 광범위한 공지의 가공 기술로부터 선택할 수 있다. 그러나, 가공률이 높고, 표면적이 큰 연마 패드를 사용함으로써 한번에 큰 면적을 연마할 수 있다는 점에서, 일반적으로는 기계 연마 기술이 사용된다. 여기서 용어 "기계 연마 기술"은, 지립의 연마 작용만에 의해 연마하는 것 이외에, 지립의 연마 작용을 약품에 의한 화학적 연마 작용과 병용하는 화학 기계 연마를 포함하는 기술을 의미한다. 기계 연마 기술은 랩핑 (lapping) 및 폴리싱 (polishing) 중 임의의 것일 수 있고, 사용되는 연마 장치 및 연마제는 공지의 것으로부터 적절하게 선택할 수 있다.
- <37> 용어 "기복"은 주기가 5 내지 30 mm인, 유리 기관 표면에 존재하는 주기적인 요철을 의미한다. 본 발명의 마무리 가공 방법은 예비 연마 동안 유리 기관 표면에 발생한 기복을 제거하는 방법이다.
- <38> 본 발명의 마무리 가공 방법은 집적 회로의 고집적화 및 고세밀화에 대한 경향에 대응할 수 있는 EUVL용 반사형 마스크에 사용되는 유리 기관의 마무리 가공에 적절하다. 이 용도로 사용되는 유리 기관은 열팽창계수가 작고 그 변동도 감소된 유리 기관이다. 20 °C에서의 열팽창계수가  $0 \pm 30$  ppb/°C인 저팽창 유리체인 것이 바람직하고, 20 °C에서의 열팽창계수가  $0 \pm 10$  ppb/°C인 초저팽창 유리체인 것이 보다 바람직하다.
- <39> 이러한 저팽창 유리 및 초저팽창 유리로서는,  $SiO_2$ 를 주성분으로 포함하고, 열팽창계수를 낮추기 위해서 도펀트가 첨가된 석영 유리가 가장 널리 사용된다. 열팽창계수를 낮추기 위해서 첨가되는 도펀트의 대표적인 예는  $TiO_2$ 이다. 도펀트로서  $TiO_2$ 가 첨가된 저팽창 유리 및 초저팽창 유리의 예에는 ULE (등록 상표) 코드 7972 (코닝사 (Corning Glass Works) 제조)가 포함된다.
- <40> 본 발명의 마무리 가공 방법에 있어서, 유리 기관을 구성하는 유리는  $SiO_2$ 를 주성분으로 포함하고 도펀트를 함유하는 석영 유리이다. 그 대표적인 예는 유리의 열팽창계수를 낮추기 위해서  $TiO_2$ 가 첨가된 석영 유리이다. 그러나, 유리 기관을 구성하는 유리는 이것에 한정되지 않고,  $SiO_2$ 를 주성분으로 포함하고 다른 목적(들)으로 도펀트가 첨가된 석영 유리일 수도 있다. 이하, 본 명세서에서는  $SiO_2$ 를 주성분으로 포함하고 임의의 도펀트가 첨가

된 석영 유리를 총칭하여 "도핑된 석영 유리"라 한다.

- <41> 열팽창계수를 낮추기 위한 것 이외의 목적으로 도펀트가 첨가된 도핑된 석영 유리의 예에는 유리의 절대 굴절률을 높이기 위해서  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  또는 질소가 첨가된 도핑된 석영 유리 및 유리의 레이저 내성을 높이기 위해서 불소가 첨가된 도핑된 석영 유리가 포함된다.
- <42> 도핑된 석영 유리 중의 도펀트 함량은 도펀트의 종류 및 도핑의 목적에 따라 다르다. 유리의 열팽창계수를 낮추기 위해서  $\text{TiO}_2$ 가 첨가된 도핑된 석영 유리의 경우, 그의  $\text{TiO}_2$  함량은  $\text{SiO}_2$ 에 대해 1 내지 12 질량%인 것이 바람직하다.  $\text{TiO}_2$ 의 함량이 1 질량% 미만이면, 유리의 열팽창계수를 충분히 낮출 수 없는 가능성을 초래할 수 있다.  $\text{TiO}_2$ 의 함량이 12 질량%를 초과하는 경우에는, 열팽창계수가 큰 음의 값, 즉  $-30 \text{ ppb}/^\circ\text{C}$  미만의 값으로 된다.  $\text{TiO}_2$ 의 함량은 5 내지 9 질량%인 것이 보다 바람직하다.
- <43> 이하에 기술된 수순에 의해 예비 연마 동안 유리 기관 표면에 발생한 기복을 제거할 수 있는 한, 본 발명의 마무리 가공 방법은 도핑된 석영 유리 이외의 유리제 유리 기관에도 적용할 수 있다. 그러므로, 본 발명의 마무리 가공 방법은 결정핵으로서  $\text{TiO}_2$  또는  $\text{ZrO}_2$ 를 함유한 저팽창 결정화 유리에도 적용할 수 있다고 생각된다.
- <44> 유리 기관의 형상, 크기, 두께 등은 특별히 한정되지는 않는다. 그러나, EUVL용 반사형 마스크에 사용되는 기관의 경우에는, 직사각형 또는 정사각형의 평면 형상을 갖는 판상체이다.
- <45> 본 발명의 마무리 가공 방법은 하기 2개의 측정 공정을 포함한다.
- <46> · 유리 기관에 함유되는 도펀트의 농도 분포를 측정하는 공정 (측정 공정 1)
- <47> · 예비 연마된 상태의 유리 기관의 표면 형상을 측정하는 공정 (측정 공정 2)
- <48> 측정 공정 1에서는, 유리 기관에 함유되는 도펀트의 농도 분포를 측정한다. 여기서 용어 "유리 기관에 함유되는 도펀트의 농도 분포"는, 유리 기관의 두께 방향에서의 도펀트 농도 분포가 아니라, 두께를 갖지 않는 2차원 형상으로 간주한 판상 유리 기관의 각 부위에서의 도펀트 농도 분포를 의미한다. 즉, 상기 용어는 판상 유리 기관의 평면 내 농도 분포를 의미한다. 덧붙여, 유리 기관 표면에 평행한, 유리 기관의 임의의 깊이에 위치한 평면에서의 도펀트 농도 분포는 검사된 유리 기관 표면에서의 농도 분포와 동등한 것으로 추정된다.
- <49> 그러므로, 상기 측정 공정 1로부터 얻어진 측정 결과는 2차원 형상의 각 부위에서의 도펀트 농도를 나타내는 도펀트 농도 분포 지도 (이하, 상기 지도를 "도펀트 농도 분포 지도"라 함)로 된다.
- <50> 도펀트 농도 분포를 측정하기 위해서는, 도펀트의 종류에 따라 적절하게 선택한 방법을 사용할 수 있다. 예를 들면, 유리 기관 표면을 X-선 형광 분석함으로써, 유리 기관에 함유되는 도펀트의 농도 분포를 측정할 수 있다. 도펀트가  $\text{TiO}_2$ 인 경우,  $\text{TiO}_2$  농도와 유리 기관의 굴절률 사이에 상관성이 존재한다. 이 때문에, 레이저 간섭식 평탄도 측정 장치로의 투과 파면 측정을 통한 굴절률 분포 측정 결과로부터 유리 기관에 함유되는  $\text{TiO}_2$ 의 농도 분포를 비파괴적으로 구할 수도 있다.
- <51> 유리 기관에 함유되는 도펀트의 농도 분포는 예비 연마 동안 내내 실질적으로 변화하지 않는다고 생각된다. 그러므로, 측정 공정 1은 예비 연마 전에 실시할 수도 있고 예비 연마 후에 실시할 수도 있다. 그러나, 레이저 간섭식 평탄도 측정 장치를 사용하는 경우, 동일한 장치로 예비 연마된 유리 기관의 표면 형상도 측정할 수 있기 때문에, 예비 연마 후 측정을 실시하는 것이 바람직하다.
- <52> 측정 공정 2에서는, 예비 연마된 유리 기관의 표면 형상을 측정한다. 이 유리 기관의 표면 형상은 유리 기관 표면의 평탄도로써 측정한다. 여기서 용어 "유리 기관 표면의 평탄도"는 유리 기관 표면의 각 부위에서의 평탄도, 즉 높이 차를 의미한다.
- <53> 그러므로, 상기 측정 공정 2로부터 얻어진 측정 결과는 유리 기관 표면의 각 부위에서의 높이 차를 나타내는 평탄도 지도 (이하, 상기 지도를 "평탄도 지도"라 함)로 된다.
- <54> 유리 기관 표면의 평탄도는, 예를 들면 레이저 간섭식 평탄도 측정 장치로 측정할 수 있다. 후에 나타낼 실시예에서는, 유리 기관 표면의 평탄도를 피조 (Fizeau)형 레이저 간섭식 평탄도 측정 장치 G310S (후지논사 (FUJINON Corp.) 제조)로 측정하였다. 그러나, 유리 기관 표면의 평탄도를 측정하는 수단은 상기 장치에 한정되지 않고, 레이저 변위계, 초음파 변위계 또는 접촉식 변위계를 사용하여 유리 기관 표면 상의 높이 차를 측정



하고, 이 측정 결과로부터 평탄도를 구하는 방법을 사용할 수도 있음에 주의해야 한다.

- <55> 본 발명의 마무리 가공 방법에서는, 전술한 측정 공정 1 및 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초하여 유리 기판 표면의 마무리 가공 조건을 유리 기판의 각 부위에 설정한다. 이하, 본 명세서에서는 유리 기판 표면의 마무리 가공 조건을 유리 기판의 각 부위에 설정하는 것을 간단히 "유리 기판 가공 조건을 설정한다"라고 한다.
- <56> 본 발명의 마무리 가공 방법에서는, 상기 측정 공정 1로부터 얻어진 결과 및 상기 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초하여 유리 기판 가공 조건을 설정한다. 이해를 용이하게 하기 위해서, 측정 공정 1로부터 얻어진 결과에 기초한 가공 조건의 설정 및 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초한 가공 조건의 설정을 이하에 개별적으로 설명한다.
- <57> 가공 조건을 측정 공정 1로부터 얻어진 결과에 기초하여 설정하는 경우, 유리 기판에 함유되는 도펀트 농도와 유리 기판 표면의 가공률 사이의 상관 (이하, "도펀트 농도와 가공률 사이의 상관"이라고도 함)을 미리 구한다. 측정 공정 1로부터 얻어진 결과 및 도펀트 농도와 가공률 사이의 상관을 사용하여 가공 조건을 설정한다.
- <58> 본 발명자들은 도핑된 석영 유리제 유리 기판을 가공할 때, 도펀트 농도와 가공률 사이에 어떤 상관이 존재한다는 것을 발견하였다.
- <59> 예를 들면, TiO<sub>2</sub>를 도펀트로서 함유하는 도핑된 석영 유리의 경우, 일정한 가공 조건 하에서 상기 도핑된 석영 유리를 가공할 때, 도펀트 농도 X (중량%)와 가공률 Y (μm/분) 사이에 하기 수학적 식 1로 표시되는 상관이 존재한다.

**수학적 식 1**

- <60>  $Y = a \cdot X + b$
- <61> 수학적 식 1 중, a 및 b는 변수를 나타낸다.
- <62> 도 1은 도펀트로서 TiO<sub>2</sub>를 함유한 도핑된 석영 유리에 있어서, 도펀트 농도와 가공률 사이의 상관을 나타낸 그래프이다. 나타낸 상관은 가공 기술로서 가스 클러스터 이온빔 에칭을 사용한 경우 및 가공 기술로서 산화 세륨에 의한 기계 연마를 사용한 경우이다. 도 1의 작성에 사용된 수순을 이하에 나타낸다.
- <63> SiO<sub>2</sub>에 대한 질량%로 TiO<sub>2</sub>를 각각 0%, 3.1%, 5.1%, 6.9% 및 8.7%의 양으로 함유한 도핑된 석영 유리제 시험 샘플 (20 mm x 20 mm x 1 mm (두께))을 준비하였다. 이들 TiO<sub>2</sub> 농도가 상이한 시험 샘플을 동일한 조건 하에서 가공하여 가공률을 구하였다. 가공률에 대한 TiO<sub>2</sub> 농도의 플롯트를 도 1에 나타낸다. 도 1에서, 가공률은 TiO<sub>2</sub> 농도가 0 질량%일 때의 가공률값을 1로 한 규격화 가공률로서 나타낸다.
- <64> 가스 클러스터 이온빔 에칭 및 기계 연마는 이하의 조건 하에 실시하였다.
- <65> 가스 클러스터 이온빔 에칭
- <66> 가스원: 1.25% SF<sub>6</sub>, 24% O<sub>2</sub>, 74.75% Ar
- <67> 가속 전압: 30 kV
- <68> 빔 전류: 50 μA
- <69> 빔 직경 (FWHM값): 10 mm 이하
- <70> 조사량: 6.2 x 10<sup>15</sup> 개 이온/cm<sup>2</sup>
- <71> 기계 연마
- <72> 연마재: 산화 세륨 (C085; 스피드팸사 (Speedfam Co., Ltd.) (쇼와 덴코 H-3))
- <73> 연마 패드: 세륨 함유 폴리우레탄 패드 (MHC14B; 로델 니타사 (Rodel Nitta Company))
- <74> 연마 장치: 양면 연마기
- <75> 도 1에 나타낸 가공률은 중량측정법에 의해 가공 동안의 시험 샘플의 중량 변화로부터 구하였다.

<76> 상기의 가공 조건 하에 가스 클러스터 이온빔 에칭을 실시한 경우, 도 1로부터 상기 수학적 식 1의 변환으로서 하기 수학적 식 1a를 얻는다. 한편, 산화 세륨에 의한 기계 연마를 실시한 경우, 상기 수학적 식 1은 하기 수학적 식 1b로 변환된다.

**수학적 식 1a**

<77>  $Y = 0.0522X + 1.0449$

**수학적 식 1b**

<78>  $Y = 0.0306X + 1.0188$

<79> 유리 기판 표면의 마무리 가공에 사용되는 가공 기술 및 가공 조건에 대한 그래프를 도 1에 나타낸 것처럼 미리 작성하여 두면, 측정 공정 1로부터 얻어지는 도펀트 농도 분포 지도 및 수학적 식 1을 사용하여, 유리 기판 표면의 가공량을 유리 기판의 각 부위에 설정할 수 있다. 그러나, 수학적 식 1은 일정한 가공 조건 하에서의 유리 기판에 함유되는 도펀트 농도와 유리 기판 표면의 가공물 사이의 관계를 표시하기 때문에, 설정에 사용할 수 있는 가공 조건 중의 유일한 요소는 가공 시간이다.

<80> 도펀트 농도 분포와 관련하여 사용된 개념인 두께를 갖지 않는 2차원 형상의 유리 기판에 있어서, 유리 기판에 대한 좌표를 (x, y)로 표현한 경우, 측정 공정 1로부터 얻어진 도펀트 농도 분포 지도는 C(x, y) (질량%)로 표현된다. 유리 기판의 가공량 및 가공 시간은 각각 W(x, y) (μm) 및 T(x, y) (분)로 표현된다. 덧붙여, W(x, y)는 좌표 (x, y)에 의해 특정되는 유리 기판의 부위에 대한 가공량 (예정 가공량)을 표현하며, 상수이다. 예를 들면, 좌표 (x, y)에 의해 특정되는 유리 기판의 부위가 5 μm의 양으로 가공되는 경우, W(x, y) = 5 μm가 된다.

<81> W(x, y)와 T(x, y) 사이의 관계는 하기 수학적 식 2로 표시된다.

**수학적 식 2**

<82>  $T(x, y) = W(x, y) / (a \times C(x, y) + b)$

<83> 그러므로, 측정 공정 1로부터 얻어진 결과에 기초하여 유리 기판 가공 조건을 설정하는 경우, 수학적 식 2에 따라 유리 기판 가공 조건, 구체적으로는 가공 시간을 설정할 수 있다.

<84> 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초하여 가공 조건을 설정하는 경우, 상기 측정 공정 2를 통해 유리 기판 표면의 평탄도를 구하고, 이에 기초하여 가공 조건을 설정한다.

<85> 상기한 바와 같이, 측정 공정 2의 결과는 평탄도 지도로서 얻어진다. 상기와 유사하게, 2차원 형상의 유리 기판에 대한 좌표를 (x, y)로 표현한 경우, 평탄도 지도는 S(x, y) (μm)로 표현된다. 가공 시간은 T(x, y) (분)로 표현된다. 가공률을 Y (μm/분)로 표현한 경우, 이들의 관계는 하기 수학적 식 3으로 표시된다.

**수학적 식 3**

<86>  $T(x, y) = S(x, y) / Y$

<87> 그러므로, 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초하여 가공 조건을 설정하는 경우, 수학적 식 3에 따라 가공 조건, 구체적으로는 가공 시간을 설정한다.

<88> 본 발명의 마무리 가공 방법에서는, 상기 측정 공정 1로부터 얻어진 결과에 기초한 가공 조건의 설정 및 상기 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초한 가공 조건의 설정을 조합하여 실시함으로써 유리 기판 가공 조건을 설정한다.

<89> 마찬가지로, 2차원 형상의 유리 기판에 대한 좌표를 (x, y)로 표현하고, 측정 공정 1로부터 얻어진 도펀트 농도 분포 지도, 측정 공정 2로부터 얻어진 평탄도 지도 및 가공 시간을 각각 C(x, y) (질량%), S(x, y) (μm) 및 T(x, y) (분)로 표현한 경우, 이들의 관계는 하기 수학적 식 4로 표시된다.

**수학적 식 4**

<90>  $T(x, y) = S(x, y) / (a \times C(x, y) + b)$

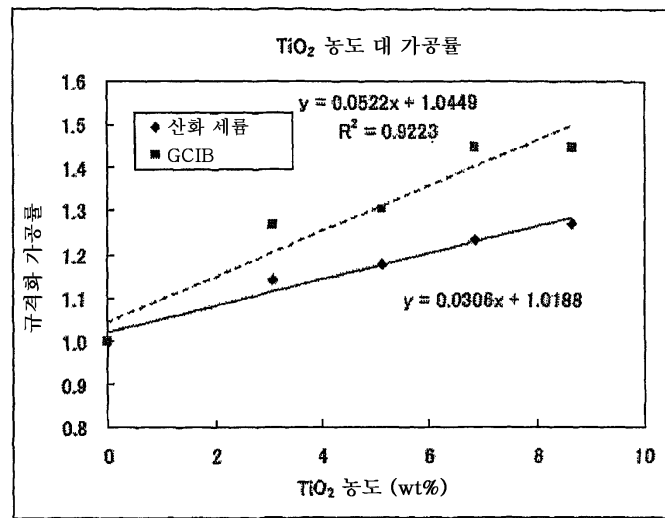
- <91> 그러므로, 측정 공정 1 및 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초하여 가공 조건을 설정하는 경우, 수학적 4에 따라 가공 조건, 구체적으로는 가공 시간을 설정한다.
- <92> 본 발명의 마무리 가공 방법에 사용되는 가공 기술은, 상기 측정 공정 1 및 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초하여, 상기 가공 기술에 의해 유리 기판을 가공하는 가공 조건을 설정할 수 있는 한 특별히 한정되지 않는다. 즉, 가공 기술은 1회 가공 작업에 의해 가공되는 범위를 충분히 작게 할 수 있고, 측정 공정 1 및 측정 공정 2의 결과에 기초하여 상기 기술에 의한 가공의 조건을 용이하게 설정할 수 있는 한 특별히 한정되지 않는다. 그러므로, 상기 가공 기술은 소경의 연마 패드, 예를 들면 직경이 약 2 cm인 연마 패드를 사용한 기계 연마일 수도 있다. 그러나, 이온빔 에칭, 가스 클러스터 이온빔 에칭, 플라즈마 에칭, 나노 어브레이전 및 MRF (자기 유변 마무리 공정)로 이루어진 군으로부터 선택되는 가공 기술을 사용하는 것이, 상기 측정 공정 1 및 측정 공정 2의 결과에 기초하여 이들 가공 기술에 대한 조건을 설정하는 것, 예를 들면 수학적 4에 따라 가공 시간을 설정하는 것이 용이하기 때문에 바람직하다.
- <93> 상기한 가공 기술 중에서도, 유리 기판 표면을 빔으로 조사하는 기술, 즉 이온빔 에칭, 가스 클러스터 이온빔 에칭 및 플라즈마 에칭은 상기 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초하여 유리 기판 가공 조건을 추가로 설정할 수 있다는 이점을 가진다. 이 설정 수순을 이하에 구체적으로 설명한다.
- <94> 이 설정 수순의 실시에서는, 측정 공정 2로부터 얻어진 결과를 사용하여 유리 기판 표면에 존재하는 기복의 폭을 특정한다. 용어 "기복의 폭"은 유리 기판 표면에 주기적으로 존재하는 요철에 있어서 각각의 요부 또는 절부의 길이를 의미한다. 그러므로, 기복의 폭은 통상적으로 기복의 주기의 1/2이다. 유리 기판 표면에 주기가 상이한 2종 이상의 기복이 존재하는 경우에는, 주기가 가장 짧은 폭을 유리 기판 표면에 존재하는 기복으로 한다.
- <95> 상기한 바와 같이, 측정 공정 2로부터 얻어진 측정 결과는 유리 기판 표면의 부위들 사이의 높이 차를 나타내는 평탄도 지도이다. 그러므로, 유리 기판 표면에 존재하는 기복의 폭을 평탄도 지도로부터 용이하게 특정할 수 있다.
- <96> 상기의 수순으로 특정한 기복의 폭을 기준으로 하여, 직경이 기복의 폭 이하인 빔을 사용하여 드라이 에칭을 실시한다. 여기서 빔 직경은 FWHM (반치폭)값으로 표현된다. 이하, 본 명세서에서 용어 "빔 직경"은 빔 직경의 FWHM값을 의미한다. 본 발명의 마무리 가공 방법에서는, 직경이 기복의 폭의 1/2 이하인 빔을 사용하는 것이 보다 바람직하다. 직경이 기복의 폭의 1/2 이하인 빔을 사용하는 한, 유리 기판의 표면에 존재하는 기복에 빔을 집중하여 조사할 수 있다. 이에 따라, 기복을 효과적으로 제거할 수 있다.
- <97> 유리 기판 표면을 빔으로 조사하는 기술, 즉 이온빔 에칭, 가스 클러스터 이온빔 에칭 또는 플라즈마 에칭을 사용하는 경우, 유리 기판 표면의 빔 스캐닝을 행할 필요가 있다. 이는 유리 기판의 가공 조건을 설정하기 위해서, 1회 작동에 빔을 조사하는 범위를 최소화할 필요가 있기 때문이다. 특히 직경이 기복의 폭 이하인 빔을 사용하는 경우, 유리 기판 표면의 빔 스캐닝을 행할 필요가 있다. 공지된 빔 스캐닝 기술에는 래스터 스캐닝 (raster scanning) 및 스파이럴 스캐닝 (spiral scanning)이 포함되고, 이들 중 임의의 것을 사용할 수 있다.
- <98> 본 발명의 마무리 가공 방법에서 수학적 4에 따라 가공 시간 (이 경우, 빔 조사 시간)을 설정하는 경우에는, 좌표 (x, y)에서 조사 시간 T(x, y)가 얻어지도록 설정을 행한다. 즉, 빔 강도 프로파일, 스캐닝 피치 및 조사량을 고려하여 유리 기판에 대한 빔의 운동 속도를 결정함으로써, 조사 시간 T(x, y)의 설정값을 얻는다. 기계 연마를 사용하는 경우에도, 마찬가지로 소경 연마 패드에 의한 단위 시간당 연마량 분포를 고려하여 유리 기판에 대한 소경 연마 패드의 운동 속도를 결정함으로써, 조사 시간 T(x, y)의 설정값을 얻는다.
- <99> 유리 기판 표면을 빔으로 조사하는 상기 기술 중에서도, 가스 클러스터 이온빔 에칭이 바람직하다. 이는 상기 기술이 유리 기판을 표면 조도가 감소되고 평탄도가 우수한 표면을 갖도록 가공할 수 있기 때문이다.
- <100> 가스 클러스터 이온빔 에칭은, 상온 및 상압에서 기체인 반응물 (가스원)을 팽창형 노즐을 통해 진공 장치 내에 가압 상태로 토출시킴으로써 가스 클러스터를 형성하고, 이 가스 클러스터를 전자 조사에 의해 이온화하고, 생성된 가스 클러스터 이온빔을 가공할 대상물에 충돌시켜 에칭하는 것을 포함하는 기술이다. 가스 클러스터는 통상 수천 개의 원자 또는 분자로 구성된 피상 원자 집단 또는 분자 집단이다. 본 발명의 마무리 가공 방법에서 가스 클러스터 이온빔 에칭을 사용하는 경우, 유리 기판 표면에 가스 클러스터를 충돌시키면, 고체와의 상호작용에 의해 다체 충돌 효과가 생겨 유리 기판 표면이 가공된다.
- <101> 가스 클러스터 이온빔 에칭을 사용하는 경우, 가스원으로서, 예를 들면 SF<sub>6</sub>, Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NF<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CHF<sub>3</sub>, CF<sub>4</sub>,

$C_2F_6$ ,  $C_3F_8$ ,  $C_4F_6$ ,  $SiF_4$  및  $COF_2$ 와 같은 가스를 단독으로 또는 혼합하여 사용할 수 있다. 이들 중에서도  $SF_6$  및  $NF_3$ 는 유리 기관 표면에 충돌할 때 일어나는 화학 반응의 관점에서 가스원으로서 우수하다.  $SF_6$  또는  $NF_3$ 를 함유한 혼합 가스가 바람직하다. 그 예에는  $SF_6$  및  $O_2$ 를 포함하는 혼합 가스,  $SF_6$ , Ar 및  $O_2$ 를 포함하는 혼합 가스,  $NF_3$  및  $O_2$ 를 포함하는 혼합 가스,  $NF_3$ , Ar 및  $O_2$ 를 포함하는 혼합 가스,  $NF_3$  및  $N_2$ 를 포함하는 혼합 가스 및  $NF_3$ , Ar 및  $N_2$ 를 포함하는 혼합 가스가 포함된다. 이들 혼합 가스에 있어서, 성분들의 비율은 조사 조건을 비롯한 조건에 따라 상이하다. 그러나, 각 혼합 가스 중의 비율은 바람직하게는 하기와 같다.

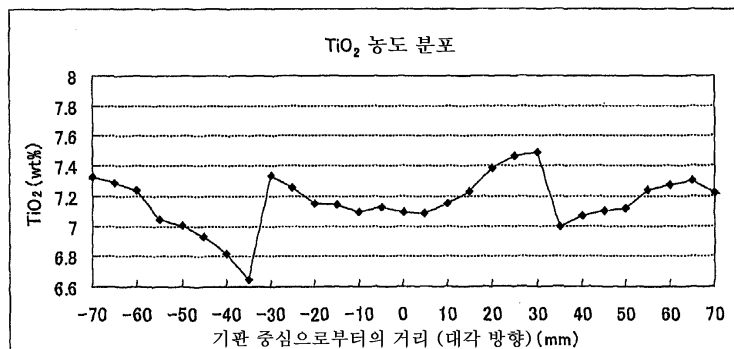
- <102>  $SF_6:O_2 = 0.1$  내지  $5\%:95$  내지  $99.9\%$  ( $SF_6/O_2$  혼합 가스)
- <103>  $SF_6:Ar:O_2 = 0.1$  내지  $5\%:9.9$  내지  $49.9\%:50$  내지  $90\%$  ( $SF_6/Ar/O_2$  혼합 가스)
- <104>  $NF_3:O_2 = 0.1$  내지  $5\%:95$  내지  $99.9\%$  ( $NF_3/O_2$  혼합 가스)
- <105>  $NF_3:Ar:O_2 = 0.1$  내지  $5\%:9.9$  내지  $49.9\%:50$  내지  $90\%$  ( $NF_3/Ar/O_2$  혼합 가스)
- <106>  $NF_3:N_2 = 0.1$  내지  $5\%:95$  내지  $99.9\%$  ( $NF_3/N_2$  혼합 가스)
- <107>  $NF_3:Ar:N_2 = 0.1$  내지  $5\%:9.9$  내지  $49.9\%:50$  내지  $90\%$  ( $NF_3/Ar/N_2$  혼합 가스)
- <108> 이들 혼합 가스 중에서도,  $SF_6/O_2$  혼합 가스,  $SF_6/Ar/O_2$  혼합 가스,  $NF_3/O_2$  혼합 가스 또는  $NF_3/Ar/O_2$  혼합 가스가 바람직하다.
- <109> 클러스터 크기, 클러스터 이온화를 위한 가스 클러스터 이온빔 예칭 장치의 이온화 전극에 인가하는 이온화 전류, 가스 클러스터 이온빔 예칭 장치의 가속 전극에 인가하는 가속 전압 및 가스 클러스터 이온빔의 조사량과 같은 조사 조건은 가스원의 종류 및 예비 연마된 유리 기관의 표면 상태에 따라 적절하게 선택할 수 있다. 예를 들면, 유리 기관의 표면 조도를 과도하게 악화시키지 않고 유리 기관 표면으로부터 기복을 제거하여 평탄도를 개선시키기 위해서는, 가속 전극에 인가하는 가속 전압은 15 내지 30 kV인 것이 바람직하다.
- <110> 본 발명의 마무리 가공 방법은 상기 측정 공정 1 및 측정 공정 2로부터 얻어진 결과에 기초하여 유리 기관 가공 조건을 설정하기 때문에, 예비 연마 동안 유리 기관 표면에 발생한 기복을 효과적으로 제거할 수 있어, 유리 기관 표면을 우수한 평탄도를 갖도록 가공할 수 있다. 본 발명의 마무리 가공 방법을 사용하면, 유리 기관 표면의 평탄도를 50 이하의 값으로 개선시킬 수 있다.
- <111> 본 발명의 마무리 가공 방법을 실시한 경우, 가공될 유리의 표면 상태 및 빔 조사 조건에 따라 유리 기관의 표면 조도가 다소 악화되는 경우가 있다. 또한, 일부 사양의 유리 기관은 본 발명의 마무리 가공 방법에 의해 원하는 평탄도는 달성할 수 있지만 원하는 표면 조도까지 가공할 수는 없는 경우가 있다. 이에 따라, 본 발명의 마무리 가공 방법의 실시 후에 유리 기관의 표면 조도를 개선시키기 위해서 추가의 마무리 가공 처리를 실시할 수도 있다. 이러한 목적으로 실시되는 마무리 가공 처리를 위해서는, 가스 클러스터 이온빔 예칭을 사용하는 것이 바람직하다. 그러므로, 본 발명의 마무리 가공 방법에서 가스 클러스터 이온빔 예칭을 사용하는 경우, 추가의 마무리 가공 처리는 가스원, 이온화 전류 및 가속 전압과 같은 조사 조건이 상이한 제2 가스 클러스터 이온빔 예칭으로서 실시한다. 예를 들면, 제2 클러스터 이온빔 예칭은 예비 연마 동안 발생한 기복을 제거할 목적으로 실시하는 가스 클러스터 이온빔 예칭에서의 것보다 낮은 이온화 전류 또는 낮은 가속 전압을 사용하여 보다 온화한 조건 하에 실시하는 것이 바람직하다. 구체적으로, 가속 전압은, 예를 들면 3 kV 이상 30 kV 미만인 것이 바람직하고, 3 내지 20 kV인 것이 보다 바람직하다. 가스원으로는  $O_2$ , Ar, CO 및  $CO_2$ 와 같은 가스를 단독으로 또는 둘 이상 혼합하여 사용할 수 있다. 이는 이러한 가스가 유리 기관 표면에 충돌할 때 화학 반응을 일으키는 경향이 덜하기 때문이다. 이들 가스 중에서도  $O_2$  및 Ar이 바람직하다.

도면

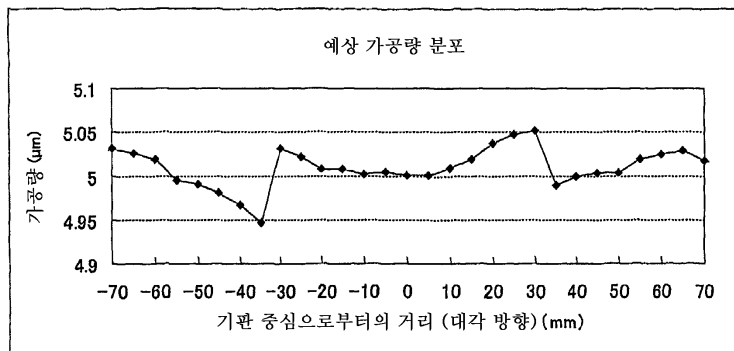
도면1



도면2

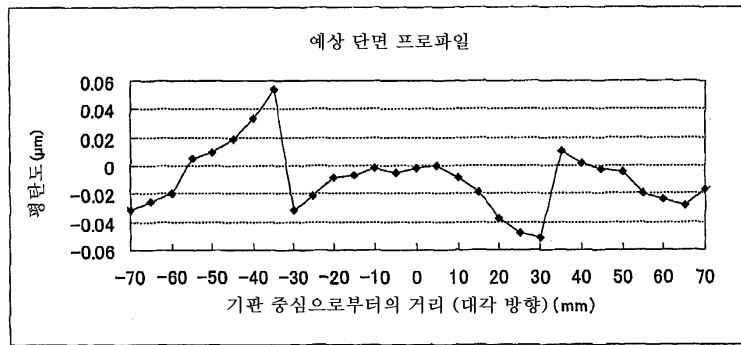


도면3

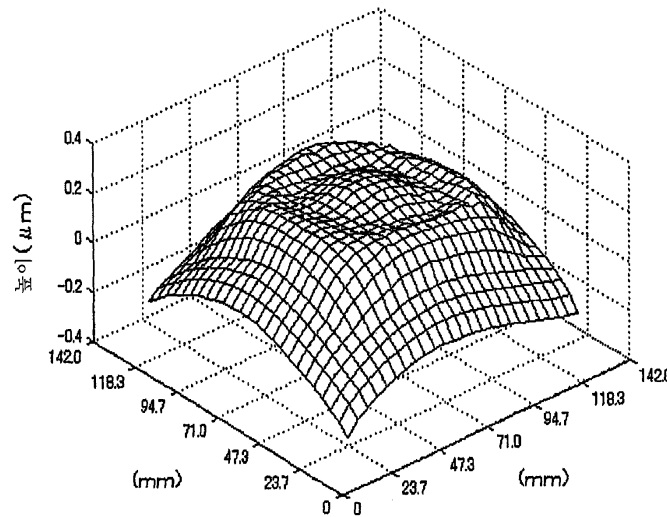




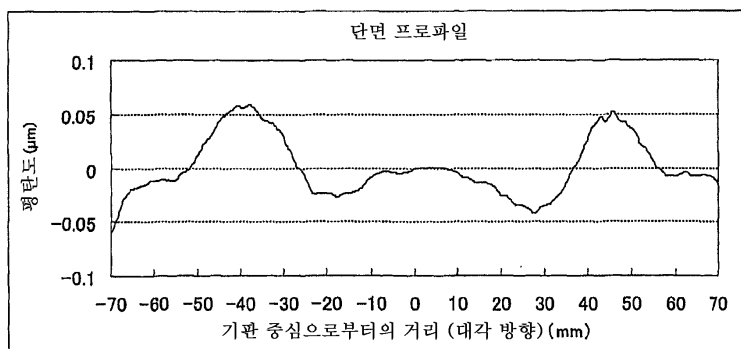
도면4



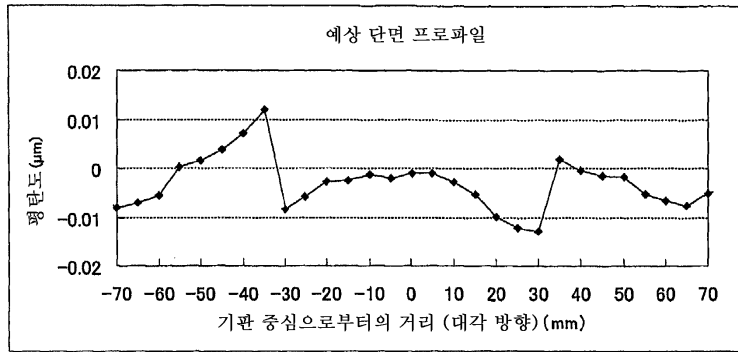
도면5



도면6



도면7



도면8

