



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년02월24일

(11) 등록번호 10-1597186

(24) 등록일자 2016년02월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**G03F 1/60** (2012.01) **C03C 19/00** (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
**G03F 1/60** (2013.01)  
**C03C 17/09** (2013.01)  
 (21) 출원번호 **10-2015-7024697**  
 (22) 출원일자(국제) **2014년06월19일**  
 심사청구일자 **2015년09월09일**  
 (85) 번역문제출일자 **2015년09월09일**  
 (65) 공개번호 **10-2015-0119121**  
 (43) 공개일자 **2015년10월23일**  
 (86) 국제출원번호 **PCT/JP2014/066263**  
 (87) 국제공개번호 **WO 2014/203961**  
 국제공개일자 **2014년12월24일**  
 (30) 우선권주장  
 JP-P-2013-130443 2013년06월21일 일본(JP)  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP2009226542 A  
 JP2013016710 A  
 WO2011122608 A1

(73) 특허권자  
**호야 가부시기가이샤**  
 일본국 도쿄도 신주꾸구 나카오찌아이 2초메 7-5  
 (72) 발명자  
**다나베 마사루**  
 일본국 1618525 도쿄도 신주꾸구 나카오찌아이 2  
 초메 7-5 호야 가부시기가이샤 내  
 (74) 대리인  
**특허법인다래**

전체 청구항 수 : 총 40 항

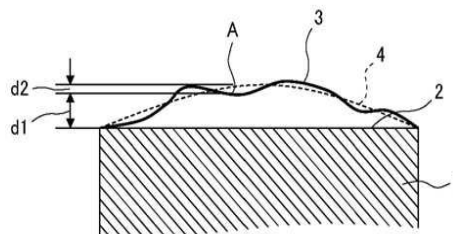
심사관 : 조승현

(54) 발명의 명칭 **마스크 블랭크용 기판, 마스크 블랭크, 전사용 마스크 및 이들의 제조방법, 그리고 반도체 디바이스의 제조방법**

### (57) 요약

본 발명은 마스크 블랭크용 기판의 제조 스루풋의 저하를 억제하면서, 실효적으로 매우 높은 주표면의 평탄도를 갖는 마스크 블랭크용 기판, 마스크 블랭크, 전사용 마스크를 제공하는 것이다. 또, 이들의 제조방법을 제공하는 것이다. 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 광학적으로 실효적인 평탄 기준면이 되는 가상 기준면을 설정하고, 그 기준면과 마스크 블랭크용 기판의 실측형상의 차분의 최대치와 최소치의 차이의 데이터(PV치)가 노광 파장( $\lambda$ )의 1/8 이하가 되는 마스크 블랭크용 기판을 선별한다.

**대표도** - 도1



(52) CPC특허분류  
*C03C 19/00* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조에 이용되는 마스크 블랭크용 기관으로서,

상기 박막이 설치되는 측의 주표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득한 경우, 상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖고,

상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경(半徑)과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기관.

#### 청구항 2

대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조에 이용되는 마스크 블랭크용 기관으로서,

상기 박막이 설치되는 측의 주표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득한 경우, 상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖고,

상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기관.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기관.

#### 청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기관.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 박막이 설치되는 측의 주표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에 있어서의 평탄도가  $0.2\mu\text{m}$  이하인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기관.

#### 청구항 6

제 2 항에 있어서,

상기 박막이 설치되는 측의 주표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에 있어서의 평탄도가  $0.2\mu\text{m}$  이하인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기관.

#### 청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항 중 어느 항에 기재한 마스크 블랭크용 기관의 한쪽 주표면에 상기 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 8

대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크로서,

상기 전사 패턴 형성용 박막의 표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득한 경우, 상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖고,

상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 9

대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크로서,

상기 전사 패턴 형성용 박막의 표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득한 경우, 상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖고,

상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 12

제 8 항에 있어서,

상기 박막의 표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에 있어서의 평탄도가 0.2  $\mu\text{m}$  이하인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 13

제 9 항에 있어서,

상기 박막의 표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에 있어서의 평탄도가 0.2  $\mu\text{m}$  이하인 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크.

#### 청구항 14

제 7 항에 기재한 마스크 블랭크의 상기 박막에 전사 패턴이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 전사용 마스크.

#### 청구항 15

제 8 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 기재한 마스크 블랭크의 상기 박막에 전사 패턴이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 전사용 마스크.

#### 청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 전사용 마스크는, 노광장치의 마스크 스테이지에 세트되어 반도체 기판상의 전사 대상물에 대해 노광 전사를 실시하기 위하여 이용되는 것이고, 상기 노광장치는, 전사용 마스크의 전사 패턴으로부터 투과한 투과광의 파면에 대해, 제르니케 다항식으로 정의되는 형상의 파면 보정을 실시하는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 전사용 마스크.

#### 청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 전사용 마스크는, 노광장치의 마스크 스테이지에 세트되어 반도체 기판상의 전사 대상물에 대해 노광 전사를 실시하기 위하여 이용되는 것이고, 상기 노광장치는, 전사용 마스크의 전사 패턴으로부터 투과한 투과광의 파면에 대해, 제르니케 다항식으로 정의되는 형상의 파면 보정을 실시하는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 전사용 마스크.

#### 청구항 18

대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조에 이용되는 마스크 블랭크용 기관의 제조방법으로서,

상기 투광성 기관의 박막이 설치되는 측의 주표면을, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하는 공정과,

상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖는 상기 투광성 기관을 마스크 블랭크용 기관으로서 선정하는 공정을 구비하고,

상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기관의 제조방법.

#### 청구항 19

대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조에 이용되는 마스크 블랭크용 기관의 제조방법으로서,

상기 투광성 기관의 박막이 설치되는 측의 주표면을, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하는 공정과,

상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖는 상기 투광성 기관을 마스크 블랭크용 기관으로서 선정하는 공정을 구비하고,

상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기관의 제조방법.

#### 청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 상기 투광성 기판을 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기판의 제조방법.

#### 청구항 21

제 19 항에 있어서,

상기 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 상기 투광성 기판을 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기판의 제조방법.

#### 청구항 22

제 18 항에 있어서,

상기 박막이 설치되는 측의 주표면에 있어서의 상기 기판의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에서의 평탄도가  $0.2\mu\text{m}$  이하인 투광성 기판을 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기판의 제조방법.

#### 청구항 23

제 19 항에 있어서,

상기 박막이 설치되는 측의 주표면에 있어서의 상기 기판의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에서의 평탄도가  $0.2\mu\text{m}$  이하인 투광성 기판을 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크용 기판의 제조방법.

#### 청구항 24

제 18 항 내지 제 23 항 중 어느 항에 기재한 마스크 블랭크용 기판의 제조방법으로 제조된 마스크 블랭크용 기판의 한쪽 주표면에 상기 전사 패턴 형성용 박막을 설치하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크의 제조방법.

#### 청구항 25

대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기판의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조방법으로서,

상기 마스크 블랭크의 전사 패턴 형성용 박막의 표면을, 기판의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하는 공정과,

상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖는 상기 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 구비하고,

상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크의 제조방법.

#### 청구항 26

대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기판의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조방법으로서,

상기 마스크 블랭크의 전사 패턴 형성용 박막의 표면을, 기판의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하는 공정과,

상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을

$\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖는 상기 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 구비하고,

상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크의 제조방법.

#### 청구항 27

제 25 항에 있어서,

상기 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 상기 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크의 제조방법.

#### 청구항 28

제 26 항에 있어서,

상기 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 상기 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크의 제조방법.

#### 청구항 29

제 25 항에 있어서,

상기 박막의 표면에 있어서의 상기 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에서의 평탄도가  $0.2\mu\text{m}$  이하인 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크의 제조방법.

#### 청구항 30

제 26 항에 있어서,

상기 박막의 표면에 있어서의 상기 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에서의 평탄도가  $0.2\mu\text{m}$  이하인 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 마스크 블랭크의 제조방법.

#### 청구항 31

제 24 항에 기재한 마스크 블랭크의 제조방법으로 제조된 마스크 블랭크의 상기 박막에 전사 패턴을 형성하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 전사용 마스크의 제조방법.

#### 청구항 32

제 25 항 내지 제 30 항 중 어느 한 항에 기재한 마스크 블랭크의 제조방법으로 제조된 마스크 블랭크의 상기 박막에 전사 패턴을 형성하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하는 전사용 마스크의 제조방법.

#### 청구항 33

제 31 항에 있어서,

상기 전사용 마스크는, 노광장치의 마스크 스테이지에 세트되어 반도체 기관상의 전사 대상물에 대해 노광 전사를 실시하기 위하여 이용되는 것이며, 상기 노광장치는, 전사용 마스크의 전사 패턴으로부터 투과한 투과광의 파면에 대해, 제르니케 다항식으로 정의되는 형상의 파면 보정을 실시하는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 전사용 마스크의 제조방법.

#### 청구항 34

제 32 항에 있어서,

상기 전사용 마스크는, 노광장치의 마스크 스테이지에 세트되어 반도체 기관상의 전사 대상물에 대해 노광 전사를 실시하기 위하여 이용되는 것이며, 상기 노광장치는, 전사용 마스크의 전사 패턴으로부터 투과한 투과광의

파면에 대해, 제르니케 다항식으로 정의되는 형상의 파면 보정을 실시하는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 전사용 마스크의 제조방법.

#### 청구항 35

제 14 항에 기재한 전사용 마스크를 노광장치의 마스크 스테이지에 세트하고, 리소그래피법에 의해 상기 전사용 마스크의 전사 패턴을 반도체 기판상에 패턴 전사하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조방법.

#### 청구항 36

제 15 항에 기재한 전사용 마스크를 노광장치의 마스크 스테이지에 세트하고, 리소그래피법에 의해 상기 전사용 마스크의 전사 패턴을 반도체 기판상에 패턴 전사하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조방법.

#### 청구항 37

제 35 항에 있어서,

상기 노광장치는, 전사용 마스크의 전사 패턴으로부터 투과한 투과광의 파면에 대해, 제르니케 다항식으로 정의되는 형상의 파면 보정을 실시하는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조방법.

#### 청구항 38

제 36 항에 있어서,

상기 노광장치는, 전사용 마스크의 전사 패턴으로부터 투과한 투과광의 파면에 대해, 제르니케 다항식으로 정의되는 형상의 파면 보정을 실시하는 기능을 갖는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조방법.

#### 청구항 39

제 31 항에 기재한 전사용 마스크의 제조방법으로 제조된 전사용 마스크를 노광장치의 마스크 스테이지에 세트하고, 리소그래피법에 의해 상기 전사용 마스크의 전사 패턴을 반도체 기판상에 패턴 전사하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조방법.

#### 청구항 40

제 32 항에 기재한 전사용 마스크의 제조방법으로 제조된 전사용 마스크를 노광장치의 마스크 스테이지에 세트하고, 리소그래피법에 의해 상기 전사용 마스크의 전사 패턴을 반도체 기판상에 패턴 전사하는 것을 특징으로 하는 반도체 디바이스의 제조방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001]

본 발명은 광리소그래피에 이용하는 마스크 블랭크용 기관, 마스크 블랭크, 마스크 및 이들의 제조방법, 그리고 반도체 디바이스의 제조방법에 관한 것으로, 특히 광리소그래피를 실시했을 때에 초점 여유도(裕度)를 확보하는데 있어 적합한 마스크 블랭크용 기관, 마스크 블랭크, 마스크 및 이들의 제조방법, 그리고 반도체 디바이스의 제조방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002]

반도체 디바이스의 미세화에 대응하기 위해, 파장 193nm의 ArF 노광광을 사용하는 노광장치의 고NA화(고개구수화(高開口數化))가 진행되고, 또한 액침노광 기술이 도입됨으로써 한층 더 고NA화가 진행되고 있으며, 현재는 NA 1.35가 실용화되기에 이르고 있다.

[0003]

이와 같은 미세화의 요구 및 고NA화에 대응하기 위해, 전사용 마스크의 평탄도를 높이는 것이 요구되고 있다. 물점(物点)인 마스크면의 평탄도가 저하하면, 투영 렌즈를 통하여 전사된 웨이퍼상의 상점(像点)의 초점 맞춤(合焦點) 위치가 흔들린다. 그 때문에, 마스크면의 평탄도가 떨어지면 허용되는 초점 여유도가 작아진다. 한편, 광학의 원리에 의해, 투영 렌즈의 고NA화는 초점 심도를 저하시킨다. 따라서, 고NA화가 진행됨에 따라 리소그래피 공정에서의 초점 여유도가 적어지기 때문에, 마스크면에서의 높은 평탄성이 요구되고 있다. 이 때문에, 전사용 마스크를 제작하기 위한 원판이 되는 마스크 블랭크에 이용되는 투광성 기관에 대해서도, 패턴을 형



성하기 위한 박막이 설치되는 측의 주표면에 대해 높은 평탄도가 요구되고 있다. 이 평탄도 요구에 대응하기 위해, 예를 들면, 특허문헌 1에 개시되어 있는 바와 같이, 연마포 등의 연마패드와 연마지립을 포함하는 연마액을 이용하여 마스크 블랭크용 기관의 표리 양면을 연마하는 양면 연마가 흔히 이용되어 왔다. 그러나, 종래의 양면 연마장치에 의한 투광성 기관의 연마에서는, 그 주표면의 평탄도를 높이는 것에는 한계가 발생하고 있었다. 이 때문에, 특허문헌 2에 나타내는, 기관의 주표면의 형상을 측정하고, 상대적으로 불룩하게 되어 있는 개소에 대해 플라스마 에칭을 실시함으로써 평탄화하는 기술이 개발되어 있었다.

[0004]

또, 노광장치의 고NA화에 수반하여, 리소그래피 공정에서의 초점 여유도가 적어지고 있는 것으로 인해, 투영광학계의 렌즈 수차(收差)가 전사 정밀도에 대하여 부여하는 영향이 커진다는 문제도 발생하고 있다. 이 문제를 해결하는 방법으로서 특허문헌 3에서는, 투영광학계의 렌즈 가열 효과에 기인하는 수차를 보정하기 위한 제르니케 다항식에 의해 정의 가능한 표면형상을 갖는 2개의 보정 광학 엘리먼트에 대하여 개시되어 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0005]

(특허문헌 0001) 일본국 특개평 1-40267호 공보

(특허문헌 0002) 일본국 특개 2002-318450호 공보

(특허문헌 0003) 일본국 특개 2008-028388호 공보

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006]

상기와 같이 마스크 블랭크용 기관에는 높은 평탄도가 요구되고 있고, 이에 따라, 투광성 기관의 주표면을 국소가공하는 기술개발이 진행되고 있다. 예를 들면, 전술과 같이, 특허문헌 2에는 상대적으로 불룩하게 되어 있는 부분에 국소적으로 플라스마 에칭을 하여 평탄도가 높은 마스크 블랭크용 기관을 제조하는 기술이 개시되어 있다. 그러나, 이 방법에서는, 1장의 기관마다 주표면의 형상을 측정하여 플라스마 에칭 등의 국소가공을 행할 필요가 있기 때문에, 종래보다 스루풋(throughput)이 큰 폭으로 저하한다는 문제가 있었다. 또, 특허문헌 3에 개시되어 있는 노광장치는, 렌즈 수차의 보정, 노광처리 시의 이력에 의한 노광광의 파면 변화를 제어하는 것을 목적으로 하고 있어, 마스크 블랭크나 마스크에 대해서는 평탄도가 높은 것이 필요시 되고 있다.

[0007]

본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 마스크 블랭크용 기관의 가공 시의 스루풋을 저하시키는 일 없이, 또 제조장치 설비 부담을 억제하여 실효적인 표면 평탄도가 높은 마스크 블랭크용 기관, 마스크 블랭크, 전사용 마스크 및 이들의 제조방법을 제공하는 것에 있다. 또, 그 전사용 마스크의 사용에 의해 높은 전사 정밀도를 확보하고, 회로 동작이 안정된 반도체 디바이스를 제조하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0008]

본 발명자는, 본 발명자가 알아낸 상기 과제를 해결하기 위해, 이하의 점에 대하여 검토를 실시했다. 마스크 블랭크용 기관의 주표면은, 배경 기술에서도 서술한 바와 같이 매우 높은 평탄성이 요구된다. 그러나, 이와 같은 완전 평탄면을 실제로 제조하는 것은 대단히 곤란하고, 또, 국소 플라스마 에칭 등의 수법을 사용하여 평탄에 가깝게 하는 공리도 실시되고 있지만, 이 방법은 스루풋이 낮고, 장치 코스트 등도 소요되며, 또 이물 결합이 발생하기 쉬운 등의 부작용도 많다. 그래서, 본 발명자는 기계적 평탄면을 추구하는 것이 아닌, 광학적 평탄면, 바꾸어 말하면 등파면(等波面)적 평탄면을 추구하는 방향으로 발상을 전환했다. 본 발명자는 투영 렌즈를 통하여 상전사를 실시하는 데 있어 본질적으로 요구되고 있는 것은, 반드시 기계적인 평면인 것이 아니라, 파면이 고른 광학적 평탄면인 것을 발견했다. 이 점이 본 발명의 제1의 특징적인 점이다.

[0009]

본 발명자는, 노광장치의 투영 렌즈에는 렌즈 수차를 보정하는 수차 보정 기능이 갖추어져 있는 것에 주목했다. 이 기능은, 노광장치 렌즈 조립, 설치 조정, 경시 변화 대응 등, 원래는 노광장치 성능 향상을 위해 설치된 기능이지만, 이 기능을 사용하면 광학적 평탄면을, 기계적 평탄면에서 벗어나 연마된 면에 대해서도 근접시킬 수 있다는 발상에 이르렀다. 이 점이, 본 발명의 제2의 특징적인 점이다.

[0010]

또 본 발명자는, 이 광학적 평탄면의 기술로서, 극좌표계인 제르니케 다항식 근사면을 사용하는 것을 착상했다.

이 점이 본 발명의 제3의 특징적인 점이다.

[0011] 또한 본 발명자는, 투영 렌즈의 수차 보정 기능은, 제르니케 다항식의 차수가 3차 이후인 고차의 향도 가능하지만, 고차의 향까지 사용하여 피팅을 실시한 경우, 노광 상황에 의해 투영 렌즈의 고차의 수차가 바뀌어 곤란한 점이 발생할 우려가 있는 것을 발견했다. 또, 차수가 1차인 항만으로는 1차원적인 틸트 보정이며, 이것으로는 충분한 광학 평탄성을 얻을 수도 없다는 것을 발견했다. 이러한 점에 의거하여 본 발명자는, 반경(半徑)과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1개 이상 포함하는 것이 유효한 것을 발견했다. 이 점이 본 발명의 제4의 특징적인 점이다.

[0012] 이와 같이, 본 발명은 전술한 착상에 근거하여 이루어진 것으로, 이하의 구성을 갖는다.

[0013] (구성 1)

[0014] 대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조에 이용되는 마스크 블랭크용 기관으로서, 이 박막이 설치되는 측의 주표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득한 경우, 상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖고, 이 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 마스크 블랭크용 기관.

[0015] (구성 2)

[0016] 대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조에 이용되는 마스크 블랭크용 기관으로서, 이 박막이 설치되는 측의 주표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득한 경우, 상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖고, 이 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 마스크 블랭크용 기관.

[0017] (구성 3)

[0018] 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 구성 1 또는 2에 기재한 마스크 블랭크용 기관.

[0019] (구성 4)

[0020] 상기 박막이 설치되는 측의 주표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에 있어서의 평탄도를  $0.2\mu\text{m}$  이하로 한 구성 1 내지 3 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크용 기관.

[0021] (구성 5)

[0022] 구성 1 내지 4 중 어느 것의 마스크 블랭크용 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크.

[0023] (구성 6)

[0024] 대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크로서, 전사 패턴 형성용 박막의 표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득한 경우, 상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖고, 이 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 마스크 블랭크.

[0025] (구성 7)

[0026] 대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크로

서, 전사 패턴 형성용 박막의 표면은, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득한 경우, 상기 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖고, 이 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 마스크 블랭크.

[0027] (구성 8)

[0028] 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 구성 6 또는 7에 기재한 마스크 블랭크.

[0029] (구성 9)

[0030] 블랭크 기관상의 박막 표면의 평탄도가, 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에 있어서  $0.2\mu\text{m}$  이하인 구성 6 내지 8 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크.

[0031] (구성 10)

[0032] 구성 5 내지 9 중 어느 것의 마스크 블랭크의 상기 박막에 전사 패턴이 형성되어 있는 전사용 마스크.

[0033] (구성 11)

[0034] 상기 전사용 마스크는, 노광장치의 마스크 스테이지에 세트되어 반도체 기관상의 전사 대상물에 대해 노광 전사를 실시하기 위하여 이용되는 것이며, 상기 노광장치는, 전사용 마스크의 전사 패턴으로부터 투과한 투과광의 파면에 대해, 제르니케 다항식으로 정의되는 형상의 파면 보정을 실시하는 기능을 갖는 구성 10에 기재한 전사용 마스크.

[0035] (구성 12)

[0036] 대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조에 이용되는 마스크 블랭크용 기관의 제조방법으로서, 이 투광성 기관의 박막이 설치되는 측의 주표면을, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하는 공정과, 이 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖는 상기 투광성 기관을 마스크 블랭크용 기관으로서 선정하는 공정을 구비하고, 이 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 마스크 블랭크용 기관의 제조방법.

[0037] (구성 13)

[0038] 대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조에 이용되는 마스크 블랭크용 기관의 제조방법으로서, 이 투광성 기관의 박막이 설치되는 측의 주표면을, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하는 공정과, 이 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖는 상기 투광성 기관을 마스크 블랭크용 기관으로서 선정하는 공정을 구비하고, 이 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 마스크 블랭크용 기관의 제조방법.

[0039] (구성 14)

[0040] 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 투광성 기관을 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 구성 12 또는 13에 기재한 마스크 블랭크용 기관의 제조방법.

[0041] (구성 15)

[0042] 박막이 설치되는 측의 주표면에 있어서의 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역의 평

탄도가  $0.2\mu\text{m}$  이하인 투광성 기관을 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 구성 12 내지 14 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크용 기관의 제조방법.

[0043] (구성 16)

[0044] 구성 12 내지 15 중 어느 것의 마스크 블랭크용 기관의 제조방법으로 제조된 마스크 블랭크용 기관의 한쪽 주표면에, 전사 패턴 형성용 박막을 설치하는 공정을 구비한 마스크 블랭크의 제조방법.

[0045] (구성 17)

[0046] 대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조방법으로서, 이 마스크 블랭크의 전사 패턴 형성용 박막의 표면을, 기관의 중심을 기준으로 한 직경  $104\text{mm}$ 의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하는 공정과, 이 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖는 상기 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 구비하고, 상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 마스크 블랭크의 제조방법.

[0047] (구성 18)

[0048] 대향하는 1조의 주표면을 갖는 투광성 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막이 설치된 마스크 블랭크의 제조방법으로서, 이 마스크 블랭크의 전사 패턴 형성용 박막의 표면을, 기관의 중심을 기준으로 한 직경  $90\text{mm}$ 의 원의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하는 공정과, 이 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖는 상기 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 구비하고, 상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 마스크 블랭크의 제조방법.

[0049] (구성 19)

[0050] 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 구성 17 또는 18에 기재한 마스크 블랭크의 제조방법.

[0051] (구성 20)

[0052] 박막의 표면에 있어서의 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이  $132\text{mm}$ 인 사각형의 내측 영역에서의 평탄도가  $0.2\mu\text{m}$  이하인 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 구성 17 내지 19 중 어느 것에 기재한 마스크 블랭크의 제조방법.

[0053] (구성 21)

[0054] 구성 16 내지 20 중 어느 것의 마스크 블랭크의 제조방법으로 제조된 마스크 블랭크의 상기 박막에 전사 패턴을 형성하는 공정을 구비하는 전사용 마스크의 제조방법.

[0055] (구성 22)

[0056] 전사용 마스크의 제조방법에 관한 것으로, 그 전사용 마스크는, 노광장치의 마스크 스테이지에 세트되어 반도체 기관상의 전사 대상물에 대해 노광 전사를 실시하기 위하여 이용되는 것이며, 상기 노광장치는, 전사용 마스크의 전사 패턴으로부터 투과한 투과광의 파면에 대해, 제르니케 다항식으로 정의되는 형상의 파면 보정을 실시하는 기능을 갖는, 본 발명의 구성 21에 기재한 전사용 마스크의 제조방법.

[0057] (구성 23)

[0058] 구성 10 또는 11에 기재한 전사용 마스크를 노광장치의 마스크 스테이지에 세트하고, 리소그래피법에 의해 상기 전사용 마스크의 전사 패턴을 반도체 기관상에 패턴 전사하는 반도체 디바이스의 제조방법.

[0059] (구성 24)

[0060] 상기 노광장치는, 전사용 마스크의 전사 패턴으로부터 투과한 투과광의 파면에 대해, 제르니케 다항식으로 정의

되는 형상의 파면 보정을 실시하는 기능을 갖는 구성 23에 기재한 반도체 디바이스의 제조방법.

[0061] (구성 25)

[0062] 구성 21 또는 22에 기재한 전사용 마스크의 제조방법으로 제조된 전사용 마스크를 노광장치의 마스크 스테이지에 세트하고, 리소그래피법에 의해 상기 전사용 마스크의 전사 패턴을 반도체 기판상에 패턴 전사하는 반도체 디바이스의 제조방법.

### 발명의 효과

[0063] 이 발명에 따르면, 기계적 평탄성으로부터 광학적 평탄성으로 치환한 기준치로 선별함으로써, 노광 파장( $\lambda$ )의 1/8 이라는 매우 높은 실질적인 평탄도의 요구를 만족시키는 마스크 블랭크용 기판을 얻을 수 있다. 또, 마스크 블랭크용 기판의 가공 시의 스루풋을 저하시키는 일이 없고, 또, 제조장치 설비 부담도 적으며, 이와 같이 초(超)평탄한 마스크 블랭크용 기판을 제조하는 것이 가능해진다. 마스크 블랭크 및 전사 마스크의 실효적 평탄도도 마스크 블랭크용 기판과 마찬가지로 높은 것이 된다. 그 전사 마스크를 이용하여 노광을 실시하면, 초점 여유도나 높은 위치 정밀도가 확보되어 매우 높은 전사 정밀도를 얻을 수 있다. 그 결과, 제조되는 반도체 디바이스의 회로 동작 특성이 안정된다.

### 도면의 간단한 설명

[0064] 도 1은 본 발명의 개념을 설명하기 위한 마스크 블랭크용 기판의 단면도이다.

도 2는 본 발명에 의한 마스크 블랭크용 기판의 제조 공정을 나타내는 공정흐름도이다.

도 3은 본 발명에 의한 마스크 블랭크용 기판의 제조 공정을 나타내는 공정흐름도이다.

도 4는 실시예 1에 의해 얻어진 실시예 샘플 A의 마스크 블랭크용 기판의 주표면 형상 분포를 나타내는 도면이며, (a)는 마스크 블랭크 상면에서 본 표면높이 등고선 분포도, (b)는 대각선 방향의 높이분포 특성 곡선도, 그리고 (c)는 마스크 블랭크 중심부를 세로 및 가로로 잘랐을 때의 높이분포 특성 곡선을 나타내는 도면이다.

도 5는 실시예 샘플 A의 표면형상 분포를 나타내는 등고선 분포도이며, (a)는 직경 104mm 내의 실측형상을 나타내는 등고선 분포도, (b)는 그것에 대응하는 가상 기준면을 나타내는 등고선 분포도, 그리고 (c)는 실측과 가상 기준면과의 차분을 나타내는 차분형상 등고선 분포도이다.

도 6은 실시예 샘플 B의 마스크 블랭크용 기판의 주표면 형상 분포를 나타내는 도면이며, (a)는 마스크 블랭크 상면에서 본 표면높이 등고선 분포도, (b)는 대각선 방향의 높이분포 특성 곡선도, 그리고 (c)는 마스크 블랭크 중심부를 세로 및 가로로 잘랐을 때의 높이분포 특성 곡선을 나타내는 도면이다.

도 7은 실시예 샘플 B의 표면형상 분포를 나타내는 등고선 분포도이며, (a)는 직경 104mm 내의 실측형상을 나타내는 등고선 분포도, (b)는 그것에 대응하는 가상 기준면을 나타내는 등고선 분포도, 그리고 (c)는 실측과 가상 기준면과의 차분을 나타내는 차분형상 등고선 분포도이다.

도 8은 참고예 샘플 C의 마스크 블랭크용 기판의 주표면 형상 분포를 나타내는 도면이며, (a)는 마스크 블랭크 상면에서 본 표면높이 등고선 분포도, (b)는 대각선 방향의 높이분포 특성 곡선도, 그리고 (c)는 마스크 블랭크 중심부를 세로 및 가로로 잘랐을 때의 높이분포 특성 곡선을 나타내는 도면이다.

도 9는 참고예 샘플 C의 표면형상 분포를 나타내는 등고선 분포도이며, (a)는 직경 104mm 내의 실측형상을 나타내는 등고선 분포도, (b)는 그것에 대응하는 가상 기준면을 나타내는 등고선 분포도, 그리고 (c)는 실측과 가상 기준면과의 차분을 나타내는 차분형상 등고선 분포도이다.

도 10은 비교예 샘플 X1의 마스크 블랭크용 기판의 주표면 형상 분포를 나타내는 도면이며, (a)는 마스크 블랭크 상면에서 본 표면높이 등고선 분포도, (b)는 대각선 방향의 높이분포 특성 곡선도, 그리고 (c)는 마스크 블랭크 중심부를 세로 및 가로로 잘랐을 때의 높이분포 특성 곡선을 나타내는 도면이다.

도 11은 비교예 샘플 X1의 표면형상 분포를 나타내는 등고선 분포도이며, (a)는 직경 104mm 내의 실측형상을 나타내는 등고선 분포도, (b)는 그것에 대응하는 가상 기준면을 나타내는 등고선 분포도, 그리고 (c)는 실측과 가상 기준면과의 차분을 나타내는 차분형상 등고선 분포도이다.

도 12는 참고예 샘플 X2의 마스크 블랭크용 기판의 주표면 형상 분포를 나타내는 도면이며, (a)는 마스크 블랭크 상면에서 본 표면높이 등고선 분포도, (b)는 대각선 방향의 높이분포 특성 곡선도, 그리고 (c)는 마스크 블



랭크 중심부를 세로 및 가로로 잘랐을 때의 높이분포 특성 곡선을 나타내는 도면이다.

도 13은 비교예 샘플 X2의 표면형상 분포를 나타내는 등고선 분포도이며, (a)는 직경 104mm 내의 실측형상을 나타내는 등고선 분포도, (b)는 그것에 대응하는 가상 기준면을 나타내는 등고선 분포도, 그리고 (c)는 실측과 가상 기준면과의 차분을 나타내는 차분형상 등고선 분포도이다.

도 14는 비교예 샘플 X3의 마스크 블랭크용 기관의 주표면 형상 분포를 나타내는 도면이며, (a)는 마스크 블랭크 상면에서 본 표면높이 등고선 분포도, (b)는 대각선 방향의 높이분포 특성 곡선도, 그리고 (c)는 마스크 블랭크 중심부를 세로 및 가로로 잘랐을 때의 높이분포 특성 곡선을 나타내는 도면이다.

도 15는 비교예 샘플 X3의 표면형상 분포를 나타내는 등고선 분포도이며, (a)는 직경 104mm 내의 실측형상을 나타내는 등고선 분포도, (b)는 그것에 대응하는 가상 기준면을 나타내는 등고선 분포도, 그리고 (c)는 실측과 가상 기준면과의 차분을 나타내는 차분형상 등고선 분포도이다.

도 16은 실시예 샘플 D의 마스크 블랭크용 기관의 주표면 형상 분포를 나타내는 도면이며, (a)는 마스크 블랭크 상면에서 본 표면높이 등고선 분포도, (b)는 대각선 방향의 높이분포 특성 곡선도, 그리고 (c)는 마스크 블랭크 중심부를 세로 및 가로로 잘랐을 때의 높이분포 특성 곡선을 나타내는 도면이다.

도 17은 실시예 샘플 D의 표면형상 분포를 나타내는 등고선 분포도이며, (a)는 직경 90mm 내의 실측형상을 나타내는 등고선 분포도, (b)는 그것에 대응하는 가상 기준면을 나타내는 등고선 분포도, 그리고 (c)는 실측과 가상 기준면과의 차분을 나타내는 차분형상 등고선 분포도이다.

도 18은 비교예 샘플 Y의 마스크 블랭크용 기관의 주표면 형상 분포를 나타내는 도면이며, (a)는 마스크 블랭크 상면에서 본 표면높이 등고선 분포도, (b)는 대각선 방향의 높이분포 특성 곡선도, 그리고 (c)는 마스크 블랭크 중심부를 세로 및 가로로 잘랐을 때의 높이분포 특성 곡선을 나타내는 도면이다.

도 19는 비교예 샘플 Y의 표면형상 분포를 나타내는 등고선 분포도이며, (a)는 직경 90mm 내의 실측형상을 나타내는 등고선 분포도, (b)는 그것에 대응하는 가상 기준면을 나타내는 등고선 분포도, 그리고 (c)는 실측과 가상 기준면과의 차분을 나타내는 차분형상 등고선 분포도이다.

도 20은 차분형상 데이터의 제르니케 다항식 차수 의존성을 나타내는 특성도이다.

도 21은 바이너리형 마스크를 이용했을 때의 노광광의 특징을 설명하기 위한 요부 마스크 단면 구조도이다.

도 22는 하프톤형 위상 시프트 마스크를 이용했을 때의 노광광의 특징을 설명하기 위한 주요부 마스크 단면 구조도이다.

도 23은 노광장치의 조명 및 투영광학계의 구성의 개요를 나타내는 노광장치 광학부의 주요부 단면 구성도이다.

도 24는 통상 조명의 조명 형상을 나타낸 조명 분포도이다.

도 25는 X 다이폴 조명의 조명 형상을 나타낸 조명 분포도이다.

도 26은 웨이퍼에 전사 형성된 레지스트 패턴의 상면도이다.

도 27은 Y 다이폴 조명의 조명 형상을 나타낸 조명 분포도이다.

도 28은 웨이퍼에 전사 형성된 레지스트 패턴의 상면도이다.

도 29는 (a)는 마스크에 레이아웃된 패턴을 나타내는 마스크 상면도이고, (b)는 그 마스크를 이용하여 웨이퍼에 전사했을 때 형성되는 레지스트 패턴의 상면도이며, 그리고 (c)는 레지스트 패턴의 단면도이다.

도 30은 (a)는 마스크에 레이아웃된 패턴을 나타내는 마스크 상면도이고, (b)는 그 마스크를 이용하여 웨이퍼에 전사했을 때 형성되는 레지스트 패턴의 상면도이며, 그리고 (c)는 레지스트 패턴의 단면도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 본 발명을 실시하기 위한 최선의 형태에 대하여, 도면을 참조하면서 그 개념을 포함하여 구체적으로 설명한다. 또한 도면 중, 동일 또는 상당하는 부분에는 동일한 부호를 붙이고 그 설명을 간략화 내지 생략하는 경우가 있다.

[0065]

- [0066] [마스크 블랭크용 기관 및 그 제조방법]
- [0067] 여기에서는, 마스크 블랭크용 기관 및 그 제조방법에 관하여 설명한다. 맨 처음 본 발명의 구성 개념을 설명하고, 그 후, 그 개념에 근거하여 실시한 실시예를 비교예 및 참고예와 함께 나타낸다.
- [0068] 우선, 본 발명은, 투영 렌즈를 통하여 상전사를 실시하는 데 있어 본질적으로 요구되고 있는 것은, 반드시 기계적인 평면인 것이 아니라, 파면이 고른 광학적 평탄면인 것에 근거하고 있다. 이 점에 대하여 도 1을 이용해 설명한다. 마스크 블랭크용 기관의 주표면(전사 패턴 형성용 박막이 설치되는 측인 한쪽 주표면)은, 배경 기술에서도 서술한 바와 같이 매우 높은 평탄성이 요구된다. 도 1은 마스크 블랭크의 단면을 나타낸 것으로, 일반적으로는, 마스크 블랭크(1)의 주표면은, 동 도면 중의 부호 2로 나타내는 바와 같이 완전 평탄면이 이상적이라고 하고 있다. 그러나, 이와 같은 완전 평탄면을 실제로 제조하는 것은 매우 곤란하고, 또, 국소 플라즈마 에칭 등의 수법을 사용하여 평탄에 가깝게 하는 공리도 실시되고 있지만, 이 방법은 스루풋이 낮고, 장치 코스트 등도 소요되며, 또 이물 결합이 발생하기 쉬운 등의 부작용도 많다. 그래서, 기계적 평탄면을 추구하는 것이 아니라, 광학적 평탄면, 바꾸어 말하면 등파면적 평탄면을 추구하는 방향으로 발상을 전환한 것이다.
- [0069] 그리고, 본 발명은, 노광장치의 투영 렌즈에 갖추어진 렌즈 수차를 보정하는 수차 보정 기능을 이용하여, 광학적 평탄면을, 기계적 평탄면에서 벗어나 연마된 면에 대해 근접시키고 있다. 이 점에 대하여 도 1을 이용해 설명한다. 도 1 중의 부호 3은 연마를 실시하여 형성된 주표면의 단면 형상을 나타낸다. 예를 들면, 동 도면 중의 A점에서의 이상적 기계적 평탄면으로부터의 어긋남은 d1이 되지만, 노광장치의 수차 보정 기능을 사용한 광학적 평탄면(단면)(4)으로부터의 어긋남은 d2로 매우 작게 할 수 있다. 여기에서의 광학적 평탄면이란, 이 면으로부터 파면을 고르게 하여 나온 광선이, 렌즈 수차보정 기능을 사용하여 의도적으로 투영 렌즈에 수차를 부여함으로써, 이상적인 결상(結像)을 나타내는 면을 의미한다. 바꾸어 말하면, 여기에서 말하는 광학적 평탄면이란, 웨이퍼면을 상점면(像点面)으로 했을 때의 투영 렌즈의 공역(共役)상에 있는 물점면(物点面)으로서, 투영 렌즈에 의도적으로 수차를 부여하여 기계적 평탄면으로부터 소망에 가까운 형상으로 변형시킨 물점면을 말한다. 본원에서는, 이 물점면의 평탄도를 광학적 평탄도라고 부르기로 한다. 이 광학적 평탄도는, 기계적 완전 평탄면이라는 1개의 고정면이 아니라, 마스크 블랭크용 기관의 표면형상에 따라 어느 정도의 자유도를 가지고 결정되는 면이므로, 평탄도를 높이는 것이 용이해진다.
- [0070] 또, 본 발명은, 이 광학적 평탄면의 기술에 극좌표계인 제르니케 다항식 근사면을 사용하고 있다. 그 극좌표의 원점은, 마스크 블랭크용 기관의 중심이다. ArF 노광장치 등에 이용되는 마스크 블랭크는, 일부 모퉁이 부분에서 모따기는 되어 있지만, 종횡 모두 약 152mm 폭의 사각형이며, 또 마스크 패턴 도형의 레이아웃도 XY좌표 표시로 되어 있으므로, 좌표계 표시로는 일반적으로 XY좌표계가 이용되고 있다. 굳이 사각형의 것에 극좌표계로 기술한 것에 본 발명의 특징적인 점이 있다. 제르니케 다항식 근사는 직교좌표계이며, 각 변수가 독립 관계에 있어 취급이 용이한 동시에, 투영 렌즈의 수차 특성이, 푸리에 변환면인 투영 렌즈의 동공면(瞳面)에서의 파면의 제르니케 다항식 전개에 각 항과 대응지어지므로, 투영 렌즈 수차보정과 블랭크 기관면의 광학적 평탄면을 결부시키는 데 매우 적합하다. 또한 ArF 노광장치로는, 현재의 주류는 ArF 스캐너이지만, 스캐너에 한정되는 것은 아니며, 스테퍼라도 상관없다. 또, 광원도 ArF 엑시머 레이저(파장 193nm)에 한정되는 것은 아니며, 예를 들면 KrF 엑시머 레이저(파장 248nm) 등이라도 상관없다.
- [0071] 이와 같이, 광학적 평탄면을 가상 기준면으로서, 그 표면형상을 제르니케 다항식 근사로 표시한 형상에 대해, 연마된 마스크 블랭크 주표면 형상과 피팅을 하여, 그 차이가 기준치 이하인 것을 선별하는 것이 본 발명의 골자이다. 더하여, 보다 바람직한 전사 성능을 부여하는 마스크 블랭크용 기관을 제조하기 위해, 이하의 점에 대하여 상세한 검토를 실시했다.
- [0072] 투영 렌즈의 수차 보정 기능은, 제르니케 다항식에 있어서의 반경과 관련되는 변수의 차수가 3차 이후인 고차의 항도 가능하지만, 고차의 항까지 사용하여 피팅을 하면, 어느 시점에서는 좋지만, 노광 상황에 따라 투영 렌즈의 고차의 수차가 변동하여 곤란한 점이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이 점에 대해서는 [노광방법 및 그것을 이용한 디바이스의 제조방법]에서 상세를 후술한다. 또, 차수가 1차인 항만으로는 1차원적인 틸트 보정이며, 이것으로는 충분한 광학 평탄성을 얻을 수 없는 것도 알 수 있었다. 따라서 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1개 이상 포함하는 것이 긴요하다는 것을 상세한 검토 결과 알 수 있었다. 그 필요한 대표의 2차 항은 디포커스 항이며, 디포커스 항은, 애리조나 대학 표기에서는 제4항, 표준형에서는 제5항에 해당한다. 이것이 본 발명의 제3의 특징적인 점이다. 또한 제르니케 다항식 근사는 표준형, 애리조나 대학 방식, 및 프린지 제르니케(Fringe Zernike) 방식 등 각종의 방식이 있지만, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항에서는, 순서나 계수에 차이는 있어도, 본 발명의

적용에 있어서는 어느 형식의 제르니케 다항식 근사를 이용해도 문제는 없다.

[0073]

상기 피팅도를 판정 선별하는 지표로는, 노광장치의 스캔 노광 시의 노광 슬릿 길이의 최대치인 104mm 직경 내에서의 가상 기준면과 마스크 블랭크 주표면 형상의 차분의 최고 높이와 최저 높이의 차이, 이른바 PV치가 적합한 것을 검토 결과 알 수 있었다. 1점이라도 PV치가 벗어나면 그곳에서는 파면이 그만큼 어긋나므로, 그 장소에서 전사 특성에 악영향이 나온다. 선별의 기준치로는, 위상차에 의한 투영 노광 시의 악영향이 충분히 작고, 파면 계측 측정장치의 계측 정밀도 기준의 하나가 되고 있는 노광 파장( $\lambda$ )의 1/8, 즉  $\lambda/8$ 로 하는 것이 좋다. 전사 평가의 결과, 통상은 이 기준으로 충분한 전사 정밀도를 얻을 수 있었다. 노광장치의 조정 시나 QC(Quality Control)를 실시할 때 등, 보다 높은 정밀도가 요구될 때는 선별의 기준치를  $\lambda/10$ 로 하는 것이 바람직하다.

[0074]

제2의 피팅 선별 지표는, 전술의 차분형상으로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )이다. 결정계수( $R^2$ )란, 중상관계수의 2승으로, 기여율이라고도 불리는 것으로, 표본치로부터 구한 회기방정식의 적합도의 척도로서 자주 이용되는 지표이다. 그 정의식은, 실측치를  $y$ , 회기방정식에 의한 추정치를  $f$ 로 하면,

[0075]

[수학식 1]

$$R^2 \equiv 1 - \frac{\sum_i (y_i - f_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

[0076]

(식 1)

[0077]

이며, 이 값이 1에 가까울수록 상대적인 잔차(殘差)가 적은 것을 나타낸다. PV치가 포인트에서의 이상(異常)을 선별하는 지표인 것에 대해, 결정계수( $R^2$ )는 형상 전체의 잔차의 크기를 나타내는 지표가 된다. 마스크를 작성해 전사와의 상관을 취하여 여러 가지 조사한 결과, 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상에서 충분한 전사 정밀도를 얻을 수 있었다.

[0078]

전술의 수법에서는, 마스크 블랭크의 중심을 기준으로 한 직경 104mm 내의 광학적 평탄도는 충분히 확보되지만, 칩 노광은 최대 104mm×132mm 영역에서 실시된다. 그래서 전술의 광학적 평탄도 선별에 더하여, 마스크 블랭크용 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에서의 평탄도를 0.2 $\mu$ m 이하로 하는 기준을 병용하면, 전체면에 걸쳐 더욱 좋은 전사 결과를 얻을 수 있었다. 또한 칩 노광은 최대에서도 104mm×132mm로, 본 측정 기준 영역인 132mm×132mm보다 작는데, 이것은 마스크 블랭크의 방향을 한정하지 않기 때문이다. 또, 마스크 블랭크용 기관의 주표면은 소정 이상의 표면 거칠기로 경면 연마되어 있을 필요가 있다. 주표면은, 한 변이 5 $\mu$ m인 사각형의 내측 영역에서 산출되는 제곱평균 제곱평균 거칠기  $R_q$ 가 0.2nm 이하인 것이 바람직하고, 0.15nm 이하이면 보다 바람직하다. 또한 표면 거칠기는, 예를 들면 원자간력 현미경(AFM)에 의해 측정할 수 있다.

[0079]

일반적으로, 전사용 마스크에 있어서, 전사 패턴을 형성할 수 있는 패턴 형성 영역은 104mm×132mm의 내측 영역이다. 전사 패턴은, 비교적 성긴 영역과 비교적 조밀한 영역, 혹은 비교적 미세한 패턴이 존재하는 영역과 비교적 큰 패턴으로 이루어져 있는 영역이 혼재하고 있는 것이 일반적이다. 패턴 형성 영역의 바깥둘레측에는 패턴이 조밀한 영역이나 미세한 패턴 영역을 배치하지 않는 경우도 많다. 초점 여유도의 문제로부터, 미세한 패턴을 전사하는 경우에는 마스크 블랭크용 기관에는 높은 광학적 평탄도가 요구된다. 또, 마스크 블랭크용 기관에 있어서, 광학적 평탄도를 확보하는 영역을 기관의 중심을 기준으로 하는 직경 104mm의 원의 내측 영역으로 하면, 기관의 생산 수율이 올라가기 어렵다는 문제도 있다. 이러한 점을 고려하면, 본 발명의 마스크 블랭크용 기관의 다른 양태로서, 광학적 평탄도를 확보하는 영역을, 기관의 중심을 기준으로 하는 직경 90mm의 원의 내측 영역으로 하는 구성으로 해도 된다.

[0080]

즉, 이 다른 양태에 있어서는, 상기의 제르니케 다항식으로 정의된 형상인 가상 기준면에 대해, 기관에 있어서의 박막이 설치되는 측의 주표면을 피팅하는 영역(산출 영역)을, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원의 내측 영역으로 한다. 그리고, 그 피팅에 의해 기관의 주표면과 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하고, 그 차분 데이터로부터 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이인 PV치를 산출한다. 이 양태의 마스크 블랭크용 기관에 있어서도, 그 산출 영역에 있어 산출된 PV치가, 노광 파장( $\lambda$ )의 1/8, 즉  $\lambda/8$ 로 하는 것이 바람직하다. 또, 높은 정밀도가 요구될 때는, 선별 기준치를  $\lambda/10$ 으로 하는 것이 보다 바람직하다. 또한 이 본 발명의 다른 양태에 있어서도, 이른바 기계적 평탄도에 관한 사항, 표면 거칠기에 관한 사항, 제2의 피팅 선별



지표에 관한 사항 등에 대해서는 본 발명의 양태와 같다.

[0081] 다음으로 본 발명의 개념에 따라 고평탄도의 마스크 블랭크용 기판을 제조하는 공정을, 도 2의 마스크 블랭크용 기판의 제조 공정 흐름도를 참조하면서 설명한다.

[0082] 맨 처음, 도 2의 공정 S1에 나타내는 바와 같이, 합성석영 잉곳으로부터 마스크 블랭크용 기판의 형상으로 잘라내고, 다음으로 동 도면의 공정 S2에 나타내는 바와 같이, 잘라낸 기판의 주표면, 단면 및 모따기면에 대해 연마를 실시하는 연삭공정, 계속해서 동 도면의 공정 S3에 나타내는 바와 같이, 주표면에 대해 그 표면을 정밀하게 연마하는 공정을 실시한다. 이 연마는 통상 다단계로 실시된다. 연마 방법은 여러 가지로서, 여기에서는 특별히 제한을 두고 있는 것은 아니지만, 산화 세륨 등의 연마제를 이용한 CMP(Chemical Mechanical Polishing)나 콜로이드 실리카 등의 연마제를 이용한 폴리싱이 적합하게 실시된다. 그 후, 동 도면의 공정 S4에 나타내는 바와 같이, 주표면의 정밀한 형상 측정을 실시한다. 이상의 공정 S4까지는 통상의 방법이어도 된다. 또한 여기에서는 마스크 블랭크 재료로서 일반적인 합성석영 유리의 경우를 나타냈지만, 전사용 마스크의 기판으로서 이용할 수 있는 것이면, 반드시 이것에 한정되는 것은 아니다. 예를 들면, 노광 파장에 따라서는, 소다라임 유리, 알루미늄실리케이트 유리, 보로실리케이트 유리, 무알칼리 유리, 불화칼슘 유리 등도 적용 가능하다.

[0083] 본 발명의 특징은 도 2의 공정 S5 이후에 있다. 우선, 공정 S5에서, 가상 기준면의 산출 계산을 실시한다. 이 가상 기준면은, 전술과 같이, 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1개 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상이다. 범위는, 마스크 블랭크용 기판의 중앙을 중심으로 한 직경 104mm의 원 내(본 발명의 다른 양태의 경우는 직경 90mm의 원 내)이다. 이 가상 기준면의 산출 시에는, 공정 S4에서 측정한 마스크 블랭크용 기판의 주표면의 표면형상을 참고로 하여 산출 계산된다. 다음으로, 도 2의 공정 S6에 나타내는 바와 같이, 공정 S5에서 산출 계산된 가상 기준면 형상과 공정 S4에서 측정한 마스크 블랭크용 기판의 주표면 형상과의 차분을 계산하고, 차분형상의 데이터(차분 데이터)를 취득한다. 그 후, 도 2의 공정 S7에 나타내는 바와 같이, 공정 S6에서 얻어진 차분 데이터로부터 최고 높이와 최저 높이의 차이, 이른바 PV치를 계산한다. 그 후, 도 2의 공정 S8에 나타내는 바와 같이, 공정 S7에서 구한 PV치가 노광 파장( $\lambda$ )의 1/8, 즉  $\lambda/8$  이하인지, 그것을 넘는 값인지를 판정하여,  $\lambda/8$  이하인 경우는 고평탄 마스크 블랭크용 기판으로 선별하고 종료한다(도 2의 공정 S9). 그것을 넘는 경우는, 저·중 평탄도의 품질로서 미들 레이어나 러프 레이어용의 마스크 블랭크용 기판으로서의 활용을 고려하거나, 공정 S3의 연마 공정으로 되돌리거나, 국소 가공 공정을 거쳐 공정 S4 이후 재차 같은 공정을 밟거나, 혹은 이 마스크 블랭크용 기판을 폐기한다(도 2의 공정 S10). 이상의 마스크 블랭크용 기판의 제조방법에 의해, 광학적 평탄도  $\lambda/8$  이하라는 매우 높은 평탄도를 갖는 마스크 블랭크용 기판을, 높은 스루풋으로 제조하는 것이 가능해진다. ArF 엑시머 노광의 경우의  $\lambda/8$ 는 25nm(소수점 이하 절상)이며, 종래법보다 현격히 높은 광학적 평탄도가, 마스크 블랭크용 기판의 가공 시의 스루풋을 저하시키는 일 없이 얻어지고, 또 제조장치 설비 부담도 억제하는 것이 가능해진다.

[0084] 다음으로, 결정계수( $R^2$ )를 이용한 또 하나의 마스크 블랭크용 기판을 제조하는 공정을, 도 3의 마스크 블랭크용 기판의 제조 공정 흐름도를 참조하면서 설명한다. 공정 S8까지는 전술의 도 2의 마스크 블랭크용 기판의 제조 방법과 동일하다. 차이는 공정 S8 이후로, PV치가  $\lambda/8$  이하인 경우, 도 3의 공정 S11에 나타내는 바와 같이, 차분형상(차분 데이터)으로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )를 계산한다. 그리고 도 3의 공정 S12에 나타내는 바와 같이, 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 경우는 고평탄 마스크 블랭크용 기판으로 선별하고 종료한다. 0.9 미만인 경우는 저·중 평탄도품으로서 미들 레이어나 러프 레이어용의 마스크 블랭크용 기판으로서의 활용을 고려하거나, 공정 S3의 연마 공정으로 되돌리거나, 국소 가공 공정을 거쳐 공정 S4 이후 재차 같은 공정을 밟거나, 혹은 이 마스크 블랭크용 기판을 폐기한다. 이 방법에서는, 1점 이상점(異常点)만의 판정이 아닌, 형상 전체의 광학 평탄면과의 피팅도도 병용하여 선별하기 때문에, 그 마스크 블랭크용 기판을 사용하여 제조된 마스크의 전사 정밀도는 높다.

[0085] 또한 공정 S11 및 S12는, 차분형상을 산출하는 공정 S6이 실시된 후이면, 어느 단계에서 실시되어도 된다. 예를 들어, 공정 S11을 공정 S7과 공정 S8의 사이에 실시해도 되고, 공정 S11과 S12를 공정 S8보다 먼저 실시해도 된다. 또, PV치의 계산과 기준치와의 비교 판정(공정 S7 및 S8)과, 결정계수( $R^2$ )의 계산과 기준치와의 비교 판정(공정 S11 및 S12)의 순서를 바꿔 넣는 것도 가능하다. 또한 여기에서 결정한 가상 기준면의 정보는 보유해 두고, 노광장치의 렌즈 수차보정 기능에 반영시키는 것이, 투영 렌즈의 공역면에서의 노광이 용이하게 가능해지

므로 바람직하다.

- [0086] 또한 본 발명의 마스크 블랭크용 기관을 제조하는 공정에 있어서, 투광성 기관의 주표면의 기계적 평탄도가, 그 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역에 있어서 0.2 $\mu$ m 이하인 기관을 선정하는 공정(기계적 평탄도의 지표로 기관을 선정하는 공정)을 갖는 것이 바람직하다. 여기에서, 이 평탄도가 0.2 $\mu$ m 이하인 기관의 선정 공정은, 공정 S4의 주표면 형상 측정 공정보다 후의 공정인 것이, 용도별 선별을 효율적으로 진행하는 데 있어 보다 바람직하다.
- [0087] [마스크 블랭크 및 그 제조방법]
- [0088] 본 발명의 마스크 블랭크는, 전술의 마스크 블랭크용 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막을 설치한 것을 특징으로 하고 있다. 또, 본 발명의 마스크 블랭크의 제조방법은, 전술의 마스크 블랭크용 기관의 제조방법으로 제조된 마스크 블랭크용 기관의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막을 설치하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하고 있다.
- [0089] 여기에서 중요해지는 것은 응력의 제어로, 이 박막에 의한 응력으로 마스크 블랭크용 기관이 일그러지면, 기관 표면의 평탄도는 변화한다. 이 막응력에 의한 기관 주표면의 변형은, 동심원상(狀)의 2차 곡면이라는 비교적 단순한 변형이며, 노광기의 수차 보정에 의해 대응할 수 있지만, 한편으로, 박막의 응력이 너무 크면, 마스크 블랭크로부터 전사 마스크를 제조할 때에 실시되는 박막의 패터닝 시에 박막 패턴의 위치 어긋남이 일어난다는 문제가 발생한다. 마스크 블랭크의 중심을 기준으로 하여, 한 변이 132mm인 사각형의 내측 영역의 기계적 평탄도의 변화량과 막응력의 관계를 조사한 바, 평탄도 변화량 10nm, 20nm, 25nm, 30nm, 40nm 및 50nm에 대응하는 막응력은, 각각 55MPa, 110MPa, 137MPa, 165MPa, 220MPa 및 275MPa였다. 이 결과로부터, 박막의 응력은 275MPa 이하가 바람직하고, 165MPa 이하이면 더욱 바람직하며, 110MPa 이하이면 한층 더 바람직한 것을 알 수 있다.
- [0090] 따라서, 박막의 막응력을 조정할 필요가 있는데, 그 방법으로는, 예를 들면 가열 처리(어닐)를 실시하는 방법이나 플래시 램프 등의 고에너지광을 박막에 대해 조사하는 광조사 처리를 실시하는 방법 등이 있다. 이 막응력 조정에 유의하여 박막 형성을 실시하면, 노광 파장( $\lambda$ )의 1/8이라는 광학적 초평탄 마스크 블랭크를 제조할 수 있고, 그 마스크 블랭크를 사용하여 제조된 전사용 마스크를 이용해 노광을 실시하면, 초점 심도, 위치 어긋남 및 해상도가 뛰어나고, 그것을 사용하여 제조되는 반도체 디바이스의 회로 특성도 안정된다.
- [0091] 상기와 같이, 패턴 형성용 박막의 응력에 의해 발생하는 마스크 블랭크용 기관의 주표면의 변형은, 동심원상의 2차 곡면이라는 비교적 단순한 변형이다. 이 변형은, 제르니케 다항식에 있어서의 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항으로 표시할 수 있다. 따라서, 마스크 블랭크에 있어서의 전사 패턴 형성용 박막의 표면이, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원(본 발명의 다른 양태의 경우는 직경 90mm의 원)의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 그 주표면과 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득한 경우, 차분 데이터의 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖고 있고, 또한 그 가상 기준면이 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상인 마스크 블랭크는, 본 발명의 마스크 블랭크로 할 수 있다. 이 본 발명의 마스크 블랭크는, 본 발명의 마스크 블랭크용 기관에 있어서의 한쪽 주표면에 전사 패턴 형성용 박막을 설치하여 이루어지는 상기의 마스크 블랭크와 동등한 효과를 얻을 수 있다.
- [0092] 또, 같은 이유로부터, 본 발명의 마스크 블랭크의 제조방법은, 마스크 블랭크의 전사 패턴 형성용 박막의 표면을, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원(본 발명의 다른 양태의 경우는 직경 90mm의 원)의 내측의 산출 영역에서, 가상 기준면에 대해 형상 피팅을 실시하여 상기 주표면과 상기 가상 기준면과의 차분 데이터를 취득하는 공정과, 이 차분 데이터의 상기 산출 영역 내에서의 최고 높이와 최저 높이의 차이가, 전사에 이용되는 노광 파장을  $\lambda$ 로 했을 때  $\lambda/8$  이하가 되는 표면형상을 갖는 상기 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 구비하고, 상기 가상 기준면은 극좌표계로 표현된 제르니케 다항식이며, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 형상을 갖는 것으로 할 수 있다.
- [0093] 또한, 같은 이유로부터, 본 발명의 마스크 블랭크의 제조방법은, 차분 데이터로부터 산출되는 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상인 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것으로 할 수 있다. 또, 같은 이유로부터, 본 발명의 마스크 블랭크의 제조방법은, 박막의 표면에 있어서의 기관의 중심을 기준으로 한 한 변이 132mm인 사각

형의 내측 영역에서의 평탄도가  $0.2\mu\text{m}$  이하인 마스크 블랭크를 선정하는 공정을 추가로 구비하는 것으로 할 수 있다.

[0094] 본 발명의 마스크 블랭크 및 본 발명의 마스크 블랭크의 제조방법으로 제조되는 마스크 블랭크는, 이하의 (1)~(3)의 구성의 것을 적용할 수 있다.

[0095] (1) 전이금속을 포함하는 재료로 이루어지는 차광막을 구비한 바이너리 마스크 블랭크

[0096] 이러한 바이너리 마스크 블랭크는, 투광성 기판상에 차광막(패턴 형성용 박막)을 갖는 형태의 것이며, 이 차광막은, 크롬, 탄탈, 루테튬, 텅스텐, 티탄, 하프늄, 폴리브덴, 니켈, 바나듐, 지르코늄, 니오브, 팔라듐, 로듐 등의 전이금속 단체 혹은 그 화합물을 포함하는 재료로 이루어진다. 예를 들면, 크롬이나, 크롬에 산소, 질소, 탄소 등의 원소로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 첨가한 크롬 화합물로 구성된 차광막을 들 수 있다. 또, 예를 들면, 탄탈에 산소, 질소, 붕소 등의 원소로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 첨가한 탄탈 화합물로 구성된 차광막을 들 수 있다. 이러한 바이너리 마스크 블랭크는, 차광막을, 차광층과 표면 반사 방지층의 2층 구조나, 추가로 차광층과 기판 사이에 이면 반사 방지층을 더한 3층 구조로 한 것 등이 있다. 또, 차광막의 막두께 방향에 있어서의 조성이 연속적 또는 단계적으로 다른 조성 경사막으로 해도 된다.

[0097] (2) 규소와 질소를 포함하는 재료, 또는 전이금속 및 규소(전이금속 실리사이드, 특히 폴리브덴 실리사이드를 포함한다)의 화합물을 포함하는 재료로 이루어지는 광반투과막(光半透過膜)을 구비한 위상 시프트 마스크 블랭크

[0098] 이러한 위상 시프트 마스크 블랭크로는, 투광성 기판(유리 기판)상에 광반투과막(패턴 형성용 박막)을 갖는 형태의 것으로서, 해당 광반투과막을 패터닝하여 시프터부를 설치하는 타입인 하프톤형 위상 시프트 마스크가 제작된다. 이러한 위상 시프트 마스크에 있어서는, 광반투과막을 투과한 광에 근거하여 전사 영역에 형성되는 광반투과막 패턴에 의한 피전사 기관의 패턴 불량을 방지하기 위해, 투광성 기판상에 광반투과막과 그 위의 차광막(차광대(遮光帶))을 갖는 형태로 하는 것을 들 수 있다. 또, 하프톤형 위상 시프트 마스크 블랭크 외에, 투광성 기판을 에칭 등에 의해 굴입하여(engrave) 시프터부를 설치하는 기관 굴입 타입인 레벤손형 위상 시프트 마스크용이나 인핸서(enhancer)형 위상 시프트 마스크용의 마스크 블랭크를 들 수 있다.

[0099] 상기 하프톤형 위상 시프트 마스크 블랭크의 광반투과막은, 실질적으로 노광에 기여하지 않는 강도의 광(예를 들면, 노광 파장에 대해 1%~30%)을 투과시키는 것으로서, 소정의 위상차(예를 들면 180도)를 갖는 것이다. 이 광반투과막을 패터닝한 광반투과부와, 광반투과막이 형성되어 있지 않은 실질적으로 노광에 기여하는 강도의 광을 투과시키는 광투과부에 의해, 광반투과부를 투과한 광의 위상이 광투과부를 투과한 광의 위상에 대해 실질적으로 반전된 관계가 되도록 함으로써, 광반투과부와 광투과부의 경계부 근방을 통과하여 회절 현상에 의해 서로 상대의 영역으로 돌아 들어간 광이 서로 없도록 하여, 경계부에서의 광강도를 거의 제로로 하여 경계부의 콘트라스트, 즉 해상도를 향상시키는 것이다.

[0100] 이 광반투과막은, 예를 들면 전이금속 및 규소(전이금속 실리사이드를 포함)의 화합물을 포함하는 재료로 이루어지고, 이들 전이금속 및 규소와, 산소 및/또는 질소를 주된 구성요소로 하는 재료를 들 수 있다. 전이금속에는 폴리브덴, 탄탈, 텅스텐, 티탄, 하프늄, 니켈, 바나듐, 지르코늄, 니오브, 팔라듐, 루테튬, 로듐, 크롬 등이 적용 가능하다. 또, 광반투과막상에 차광막을 갖는 형태인 경우, 상기 광반투과막의 재료가 전이금속 및 규소를 포함하므로, 차광막의 재료로는 광반투과막에 대해서 에칭 선택성을 갖는(에칭 내성을 갖는) 특히 크롬이나, 크롬에 산소, 질소, 탄소 등의 원소를 첨가한 크롬 화합물로 구성하는 것이 바람직하다.

[0101] 이 광반투과막은 규소와 질소를 포함하는 재료로 형성해도 된다. 구체적으로는, 광반투과막은 규소 및 질소로 이루어지는 재료, 또는 당해 재료에 반금속 원소, 비금속 원소 및 희가스로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 함유하는 재료로 형성된다. 광반투과막에 함유되는 반금속 원소로는 붕소, 게르마늄, 안티몬 및 텔루르로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 함유시키는 것이 바람직하다. 광반투과막에는, 질소에 더하여 어느 비금속 원소를 함유해도 된다. 이 비금속 원소 중에서도 탄소, 불소 및 수소로부터 선택되는 1종 이상의 원소를 함유시키면 바람직하다. 저투과층 및 고투과층은 산소의 함유량을 10원자% 이하로 억제하는 것이 바람직하고, 5원자% 이하로 하는 것이 보다 바람직하며, 적극적으로 산소를 함유시키는 것을 하지 않는(RBS, XPS 등의 조성 분석의 결과가 검출 하한치 이하)것이 더욱 바람직하다.

[0102] 이 광반투과막은, 질소 함유량이 비교적 적은 저투과층과, 질소 함유량이 비교적 많은 고투과층과의 조합이 1조 이상 적층된 구조로 해도 된다. 또한 규소와 질소를 포함하는 재료로 형성되는 광반투과막에 있어서의 차광막의 재료에 관한 사항에 대해서도, 상기의 전이금속 및 규소의 화합물을 포함하는 재료로 이루어지는 광반투과막

의 경우와 같다.

- [0103] 레벤손형 위상 시프트 마스크는, 바이너리 마스크 블랭크와 같은 구성의 마스크 블랭크로부터 제작되기 때문에, 패턴 형성용 박막의 구성에 대해서는 바이너리 마스크 블랭크의 차광막과 같다. 인헨서형 위상 시프트 마스크용의 마스크 블랭크의 광반투과막은, 실질적으로 노광에 기여하지 않는 강도의 광(예를 들면, 노광 파장에 대해 1%~30%)을 투과시키는 것이기는 하지만, 투과하는 노광광에 발생시키는 위상차가 작은 막(예를 들면, 위상차가 30도 이하, 바람직하게는 0도.)이며, 이 점이 하프톤형 위상 시프트 마스크 블랭크의 광반투과막과는 다르다. 이 광반투과막의 재료는 하프톤형 위상 시프트 마스크 블랭크의 광반투과막과 같은 원소를 포함하지만, 각 원소의 조성비나 막두께는, 노광광에 대해 소정의 투과율과 소정의 작은 위상차가 되도록 조정된다.
- [0104] (3) 전이금속 및 규소(전이금속 실리사이드, 특히 몰리브덴 실리사이드를 포함)의 화합물을 포함하는 재료로 이루어지는 차광막을 구비한 바이너리 마스크 블랭크
- [0105] 이 차광막(패턴 형성용의 박막)은 전이금속 및 규소의 화합물을 포함하는 재료로 이루어지고, 이들 전이금속 및 규소와, 산소 또는 질소 중 적어도 1개 이상을 주된 구성요소로 하는 재료를 들 수 있다. 또, 차광막은 전이금속과, 산소, 질소 또는 붕소 중 적어도 1개 이상을 주된 구성요소로 하는 재료를 들 수 있다. 전이금속에는 몰리브덴, 탄탈, 텅스텐, 티탄, 하프늄, 니켈, 바나듐, 지르코늄, 니오브, 팔라듐, 루테튬, 로듐, 크롬 등이 적용 가능하다. 특히, 차광막을 몰리브덴 실리사이드의 화합물로 형성하는 경우로서, 차광층(MoSi 등)과 표면 반사 방지층(MoSiON 등)의 2층 구조나, 추가로 차광층과 기판 사이에 이면 반사 방지층(MoSiON 등)을 더한 3층 구조가 있다. 또, 차광막의 막두께 방향에 있어서의 조성이 연속적 또는 단계적으로 다른 조성 경사막으로 해도 된다.
- [0106] 또, 레지스트막의 막두께를 박막화하여 미세 패턴을 형성하기 위해, 차광막상에 에칭 마스크막을 갖는 구성으로 해도 된다. 이 에칭 마스크막은 전이금속 실리사이드를 포함하는 차광막의 에칭에 대해 에칭 선택성을 갖는(에칭 내성을 갖는) 특히 크롬이나, 크롬에 산소, 질소, 탄소 등의 원소를 첨가한 크롬 화합물로 이루어지는 재료로 구성하는 것이 바람직하다. 이때, 에칭 마스크막에 반사 방지 기능을 갖게 함으로써, 차광막상에 에칭 마스크막을 남긴 상태로 전사용 마스크를 제작해도 된다.
- [0107] 또한 상기(1)~(3)에 있어서, 투광성 기판(유리 기판)과 차광막 사이, 또는 광반투과막과 차광막 사이에, 차광막이나 광반투과막에 대해 에칭 내성을 갖는 에칭 스톱퍼막을 설치해도 된다. 에칭 스톱퍼막은, 에칭 스톱퍼막을 에칭할 때에 에칭 마스크막을 동시에 박리할 수 있는 재료로 해도 된다.
- [0108] [전사용 마스크 및 그 제조방법]
- [0109] 본 발명의 전사용 마스크는, 상기의 마스크 블랭크의 박막에 전사 패턴이 형성되어 있는 것을 특징으로 하고 있다. 또, 본 발명의 전사용 마스크의 제조방법은, 상기의 마스크 블랭크의 제조방법으로 제조된 마스크 블랭크의 박막에 전사 패턴을 형성하는 공정을 구비하는 것을 특징으로 하고 있다. 이하, 마스크 블랭크로부터 전사용 마스크를 제조하는 공정에 대하여 설명한다. 또한 여기에서 사용하는 마스크 블랭크는, 전술 (2)의 위상 시프트 마스크 블랭크이며, 투광성 기판상에 광반투과막(전사 패턴 형성용 박막)과 차광막이 순서대로 적층된 구조를 구비한다. 또, 이 전사용 마스크(위상 시프트 마스크)의 제조방법은 일례이며, 일부의 순서를 바꾸어도 제조하는 것은 가능하다.
- [0110] 우선, 위상 시프트 마스크 블랭크의 차광막상에, 레지스트막을 스핀 도포법에 의해 형성한다. 이 레지스트막에는 전자선 노광 묘화용의 화학 증폭형 레지스트가 바람직하게 이용된다. 다음으로, 레지스트막에 대해, 광반투과막에 형성해야 할 전사 패턴을 전자선으로 노광 묘화하고, 현상 등의 소정의 처리를 하여 전사 패턴을 갖는 레지스트 패턴을 형성한다. 계속해서, 차광막에 대해 레지스트 패턴을 마스크로 한 드라이 에칭을 실시하여, 차광막에, 광반투과막에 형성해야 할 전사 패턴을 형성한다. 드라이 에칭 후, 레지스트 패턴을 제거한다. 다음으로, 광반투과막에 대해, 전사 패턴을 갖는 차광막을 마스크로 한 드라이 에칭을 실시하여 광반투과막에 전사 패턴을 형성한다. 계속해서, 레지스트막을 스핀 도포법으로 재차 형성하고, 차광막에 형성해야 할 패턴(차광대 등의 패턴)을 전자선으로 노광 묘화하고, 현상 등의 소정의 처리를 하여 레지스트 패턴을 형성한다. 차광막에 대해, 차광대 등의 패턴을 갖는 레지스트 패턴을 마스크로 하는 드라이 에칭을 실시하여 차광막에 차광대 등의 패턴을 형성한다. 그리고, 소정의 세정 처리 등을 하여 전사용 마스크(위상 시프트 마스크)가 완성된다.
- [0111] 본 방법으로 제조된 전사용 마스크의 기판 노출면(패턴 형성용 박막이 남아 있지 않은 개구부의 기판 주표면)의 광학적 평탄도는 노광 파장( $\lambda$ )의 1/8 이하로 매우 높고, 충분한 파면 컨트롤이 이루어진 전사 마스크를 제조하는 것이 가능해졌다. 파면 컨트롤이 충분히 이루어지기 때문에, 이 전사 마스크를 이용하여 노광을 실시하면,



초점 심도, 위치 어긋남 및 해상도가 뛰어나고, 그것을 사용하여 제조되는 반도체 디바이스의 회로 특성도 안정되어 있었다.

[0112] 본 발명은 전사 마스크의 종류에 관계없이 효과적이며, 바이너리형 마스크, 하프톤형 위상 시프트 마스크, 인헨서 마스크 및 레벤손형 위상 시프트 마스크 모두 효과가 있다.

[0113] 이 중에서, 바이너리형 마스크는 가장 범용으로 이용되고, 특별한 방법으로 차광대를 만들 필요도 없기 때문에, 양산상 효과가 크다. 또, 하프톤형 위상 시프트 마스크에 관해서는, 패턴 개구부는 물론 광반투과부로부터도 노광광이 투과하기 때문에, 파면 제어의 전사 성능에의 영향이 크므로, 본 방법으로 제조된 전사 마스크는 특히 효과가 크다. 이것을 전사 마스크의 단면도인 도 21 및 22를 이용하면서 설명한다. 도 21은 바이너리형 마스크의 경우로, 투명한 마스크 블랭크용 기관(21)과 차광막 패턴(22)으로 이루어져 있다. 노광광(23)은 패턴 개구부(24)는 통과하지만, 차광막 패턴(22)이 있는 부분, 이른바 필드 부분(25)은 통과하지 않는다. 노광광의 파면 컨트롤이 효과를 나타내는 것은 이 패턴 개구부만이라는 것이 된다. 한편, 도 22는 하프톤형 위상 시프트 마스크의 경우를 나타내는데, 이 경우는 광반투과 패턴(26)도 감광되어 있기는 하지만, 노광광(23)은 투과한다. 즉, 패턴 개구부(24) 뿐만 아니라 필드부(25)로부터도 노광광이 투과하기 때문에, 마스크 전체면의 파면 컨트롤이 중요해지고, 본 발명의 효과가 크게 나온다. 또한 하프톤형 위상 시프트 마스크이기 때문에, 그 원리상 파면 컨트롤은 중요하다.

[0114] [노광 방법 및 그것을 이용한 디바이스의 제조방법]

[0115] 여기에서는, 전술의 방법으로 제조한 마스크를 이용한 노광 방법 및 그것을 이용한 디바이스의 제조방법에 대하여 서술한다.

[0116] 맨 처음, 노광장치의 광학계 부분의 개요를, 장치 구성의 개요를 단면도로 하여 나타낸 장치 구성 개요도인 도 23을 참조하면서 설명한다. 노광장치의 광학계 부분은 이하의 구성으로 되어 있다. 광원(31)으로부터 노광광(32)이 발하여지고, 조명광학계(33)를 통하여 전사용 마스크(34)에 노광광이 조사된다. 전사용 마스크(34)를 투과한 노광광은 투영 렌즈(35 및 38)를 통하여 웨이퍼 스테이지(39)상에 재치된 웨이퍼(40)상에 조사되어 노광이 실시된다. 투영 렌즈(35 및 38) 사이에 있는 동공(36) 부분에는 일반적으로 가동 조리개가 설치되어 있어, 투영 렌즈의 개구수(NA: Numerical Aperture)를 조정할 수 있게 되어 있다. 투영 렌즈(35 및 38)는 이 도면에서는 각각 1장의 렌즈로 그려져 있지만 실제로는 다수의 렌즈군으로 이루어져 있고, 그 상호 위치는 일부 미동할 수 있도록 되어 있어, 저차(低次)를 중심으로 한 렌즈 수차의 보정을 할 수 있는 기구가 내장되어 있다. 또, 동공(36)의 근방에는 위상 필터(37)가 내장되어 있어, 이 위상 필터(37)를 조정함으로써 고차(高次)의 렌즈 수차, 특히 렌즈 부분 히팅에 의한 고차 수차의 리얼타임 보정이 가능해지도록 되어 있다.

[0117] 이 저차의 렌즈 수차보정은 틸트, 비점 수차 등 제르니케의 다항식의 6항까지를 포함한다. 즉, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 규정되는 항을 보정하는 기능이 있다. 본 발명의 전사 마스크를 이용하면, 이 저차의 렌즈 수차보정에 의해, 투영 렌즈(35, 38)에 있어서 웨이퍼(40)상과 공역의 위치에 전사용 마스크의 주표면을 가져올 수 있고, 이 전사용 마스크의 주표면은 광학적 평탄면이 되기 때문에, 이 전사 마스크를 이용하여 노광을 실시하면, 초점 심도, 위치 어긋남 및 해상도가 뛰어나고, 그것을 사용하여 제조되는 반도체 디바이스의 회로 특성도 안정된다. 또한, 전사 마스크의 마스크 스테이지에의 재치(세트)는, 이른바 소프트 척(chuck)이어도 하드 척이어도 상관없다.

[0118] 조명광학계(33)에는 주밍(zooming) 기구나 가동식 멀티미러(multi-mirror) 광학계 등이 내장되어 있어, 원하는 형상의 조명을 설정할 수 있게 되어 있다. 도 24에 통상 조명의 예를 나타냈는데, 통상 조명은 조명부(41)와 차광부(광이 차단되는 부분)(42)로 이루어져 있다. 조명부는 중앙을 중심으로 한 원형으로, 그 원의 크기로 조명 조건을 정의한다.(이것을 코히런스(coherency)라고 부르고 있다) 한편, 메모리계 디바이스를 중심으로 최근 자주 사용되게 되고 있는 것이 다이폴 조명이라 불리는 것으로, 그 일례를 도 25에 나타낸다. 이것은 X 다이폴로 불리는 것으로, 중앙으로부터 X축상으로 떨어져 원형상의 작은 조명부(43)가 배치되고, 그 주위는 차광부(44)로 되어 있다. 조명부가 원형으로부터 부채형 등으로 변형된 변형 다이폴 조명도 사용되는 경우가 있다. 이 X 다이폴 조명은 X방향의 해상도가 높고, 도 26에 나타내는 바와 같이 X방향으로 조밀하고 미세한 패턴의 형성에 적절하다. 여기에서, 동 도면 중의 45는 레지스트 패턴을 나타낸다. 이 X 다이폴 조명일 때, 조명광을, 통상이라면 차광부(필드부)(44)를 도는 광도 이 조명부(43)에 집중시켜, 조사 효율을 올리는 기구가 조명광학계(33)에 내장되어 있다. 따라서 투영 렌즈(35 및 38)에 있어서는, 렌즈의 일부분에 집중적으로 강한 노광광이 통과하여 부분적 렌즈 히팅이 일어난다. 이 열에 의해서 렌즈는 일그러지므로 복잡한 고차의 렌즈 수차가 발생

한다. 또, 디바이스 제조에 있어서는, X 다이폴 조명뿐만 아니라, 도 27에 나타내는 Y 다이폴 조명도 다용된다. 동 도면 중의 46은 조명부이고, 47은 차광부(필드부)이다. 이 경우는, 도 28에 나타내는 바와 같이 Y방향으로 조밀하고 미세한 패턴의 형성에 적절하다. 메모리에서는, 특히 미세한 패턴 형성이 요구되는 것이 워드선과 비트선인데, 일반적으로 그 양자는 직행 관계의 배치, 즉 X방향으로 조밀한 배선과, Y방향으로 조밀한 배선으로 이루어진다. 그러한 점도 있어, X 다이폴 조명과 Y 다이폴 조명이 양자 다용으로 이용된다. 또, 로직 패턴 등에서의 여러 가지 형상의 패턴 형성에는, 통상 조명이 다용된다. 이와 같이 여러 가지 조명이 사용되므로, 렌즈 히팅이 일어나는 장소도 다양하며, 렌즈 고차 수차의 발생도 다양하다. 히팅이므로, 노광을 시작했을 때와 계속해서 다량 처리를 하고 있을 때에서도 다르고, 고차의 렌즈 수차보정은 경시 변화에 추종할 필요도 있다. 이 고차의 수차 보정은, 제르니케의 다항식으로 표시하면 반경 방향 3차 이상의 항이며, 그 항은 순서대로 보정이 이루어지게 된다. 따라서, 전사 마스크의 광학 평탄면을, 반경 방향 3차 이상의 제르니케 다항식의 항까지 보정해도, 어느 시점에서의 어느 조명 상태에서의 광학적 평탄에 지나지 않고, 여러 가지 사용 상황 속에서는 충분한 표면 컨트롤은 되지 않는다. 따라서, 전술한 바와 같이, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 전사 마스크의 가상 기준면인 광학 평탄면을 설정하는 것이 가장 효율적이고, 효과적이다.

[0119] 이하, 노광 적용의 응용예인 3개의 예를 나타낸다.

[0120] <하프톤 마스크의 서브픽크 전사 회피예>

[0121] 여기에서 나타내는 것은, 하프톤 마스크를 이용했을 때에 자주 문제가 되는 서브픽크 전사 불량을 개선한 예이다. 도 29는 하프톤형 위상 시프트 마스크를 사용하여 배선층의 패턴을 전사한 예를 나타낸다. 여기에서, 도 29(a)는 하프톤형 위상 시프트 마스크를 상면에서 주요부를 본 도면으로, 51a가 개구부, 52a는 광반투과막에 의한 필드부(광반투과부)이며, 도 29(b)는 웨이퍼상에 전사 형성된 레지스트 패턴의 상면도이다. 또, 동 도면의 A-B면으로 자른 단면도를 도 29(c)에 나타낸다. 웨이퍼의 레지스트로서 포지티브 레지스트를 이용하면, 형성되는 레지스트 패턴은 레지스트부(52b) 내에 형성된 원하는 개구부(51b)가 되지만, 서브픽크 현상에 의해 레지스트부여야 할 장소에 레지스트 오목부(53)가 생긴다. 이 오목부는 피가공막의 에칭 시에 관통을 일으켜, 디바이스 회로의 결함 구멍이 되어, 디바이스의 제조 수율을 떨어뜨리거나 회로 동작의 불안정 요인이 되거나 한다. 마찬가지로 또 하나의 예를 도 30에 나타낸다. 이것은 홀이나 비아(via)층의 예로, 도 30(a)는 하프톤형 위상 시프트 마스크를 상면에서 주요부를 본 도면으로, 55a가 패턴 개구부, 56a는 광반투과막에 의한 필드부(광반투과부)이며, 도 30(b)는 웨이퍼상에 전사 형성된 레지스트 패턴의 상면도이다. 또, 동 도면의 A-B면으로 자른 단면도를 도 30(c)에 나타낸다. 마찬가지로, 형성되는 레지스트 패턴은 레지스트부(56b) 내에 형성된 원하는 개구부(55b)이 되지만, 서브픽크 현상에 의해 레지스트부여야 할 장소에 레지스트 오목부(57)가 생긴다. 이 오목부는 피가공막의 에칭 시에 관통을 일으켜, 디바이스 회로의 결함 구멍이 되어, 디바이스의 제조 수율을 떨어뜨리거나 회로 동작의 불안정 요인이 되거나 한다. 레지스트 막두께를 두껍게 할 수 있으면 이 문제는 해소되지만, 레지스트 해상도의 문제나 패턴 무너짐의 문제 등이 있어 레지스트를 두껍게 하는 것은 곤란하다. 이 문제의 해결법의 하나는 렌즈에 저차의 수차를 부여하여 서브픽크가 나오기 어렵게 하는 것이지만, 한편으로 이 방법에서는 노광 유도, 특히 포커스 유도가 작아진다. 따라서 마스크 블랭크용 기관이나 전사용 마스크에 대해서는 보다 엄격한 평탄도가 요구된다. 그래서, 본 실시 형태의 마스크 블랭크용 기관 및 전사용 마스크를 이용하여, 이 마스크 블랭크용 기관이나 전사용 마스크에 대해 광학 평탄면을 부여할 수 있도록 투영 렌즈에 대해, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의되는 저차의 수차 보정을 더하고, 더 나아가 그 보정 후에 서브픽크 전사 방지의 저차 보정을 더하여 노광을 실시했다. 그 결과, 필요한 초점 여유도를 확보한 뒤에, 상기 하프톤형 위상 시프트 마스크를 이용했을 때의 서브픽크 전사 문제를 회피할 수 있었다. 이것은, 본 실시 형태의 마스크 블랭크용 기관 및 전사용 마스크에서는, 광학적 평탄도  $\lambda/8$  이하가 달성되는 것에 의한 것이다.

[0122] <노광장치 QC 적용예>

[0123] 여기에서 나타내는 것은, 노광장치의 QC(Quality Control)에 적용한 예이다. 노광장치의 투영 렌즈의 고차의 수차 보정은 상술한 바와 같이, 노광 상황에 따라 순차 조정되는 것이지만, 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식으로 기술되는 저차의 항은, 전술과 같이 반도체 디바이스의 적용층에 따라서는 변화시키지만, 노광장치 관리라는 관점에서는 기준치는 반고정으로 운용해야 하는 것이다. 통상은 이들 저차의 렌즈 수차보정은 경시적으로 변화하지 않는 것이지만, 정전이나, 온도 조정 챔버의 이상 정지에 의한 노광장치의 온도 환경 변화, 및 지진 등이 일어나면 변화가 발생한다. 그래서, 노광장치의 저차의 렌즈 수차보정 관리의 QC가 필요하게 되는데, 이 QC

에는 매우 평탄하고, 파면 수차의 기초가 되지 않는 기준 마스크가 필요하다. 렌즈 수차의 평가이기 때문에, 거기서 사용하는 기준 마스크에 관해서는, 고도의 광학 측정기에 요구되는 것과 마찬가지로의 광학적 평탄도( $\lambda/8$ ) 이하의 평탄성이 요구된다. 본 실시 형태의 마스크 블랭크용 기관 및 전사용 마스크는 이 요구를 만족시키므로, 노광장치의 렌즈 수차보정 기능 조정에 최적이었다.

[0124] <노광장치 렌즈 수차보정 기능 조정 적용예>

[0125] 여기에서는, 노광장치의 렌즈 수차보정 기능 조정에 적용한 예를 나타낸다. 상기와 같이, 노광장치에는 렌즈 수차보정 기능이 내장되어 있다. 이 기능을 조정, 평가할 때는, 매우 평탄하고, 파면 수차의 기초가 되지 않는 기준 마스크가 필요하다. 렌즈 수차의 평가이기 때문에, 거기서 사용하는 기준 마스크에 관해서는, 고도의 광학 측정기에 요구되는 것과 마찬가지로의 광학적 평탄도( $\lambda/8$ ) 이하의 평탄성이 요구된다. 본 실시 형태의 마스크 블랭크용 기관 및 전사용 마스크는 이 요구를 만족시키므로, 노광장치의 렌즈 수차보정 기능 조정에 최적이었다.

[0126] **실시예**

[0127] (실시예, 비교예, 참고예)

[0128] [마스크 블랭크용 기관의 제조]

[0129] 본 실시 형태의 마스크 블랭크용 기관의 제조방법에 따라 8장의 마스크 블랭크용 기관의 샘플을 작성하고, 평가를 실시했다. 샘플 A, B, D의 3장이 실시예, 샘플 X1, X3, Y의 3장이 비교예, 샘플 C, X2의 2장이 참고예가 된다. 기관의 평탄도 측정까지, 이 8장은 모두 이하에 나타내는 동일한 공정으로 제조했다.

[0130] 우선, 합성석영 유리 기관(크기 152.4mm×152.4mm, 두께 6.35mm)을 잘라내어, 이 합성석영 유리 기관의 단면을 모따기 가공 및 연삭 가공하고, 또한 산화 세륨 지립을 포함하는 연마액으로 조연마 처리 및 정밀 연마했다. 그 후, 이 유리 기관을 양면 연마장치의 캐리어에 세트하고, 하기 조건으로 초정밀 연마를 실시했다.

[0131] 연마패드: 연질 폴리서(스웨드 타입)

[0132] 연마액: 콜로이달 실리카 지립(평균입경 100nm)과 물

[0133] 가공 압력: 50~100g/cm<sup>2</sup>

[0134] 가공 시간: 60분

[0135] 초정밀 연마 종료 후, 유리 기관을 희불산액 중에 침지시켜 콜로이달 실리카 지립을 제거하는 세정을 실시했다. 그 후, 유리 기관의 주표면 및 단면에 대해 스크립 세정을 실시하고, 그 후 순수(純水)에 의한 스핀 세정 및 스핀 건조를 실시하여, 표면이 연마 가공된 유리 기관을 8장 준비했다. 그리고 그 유리 기관의 표면형상(flatness)을 평탄도 측정장치(코닝 트로펠(Corning Tropel)사 제조 UltraFlat200M)로 실측했다.

[0136] 그 실측 데이터를 도 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 및 18에 나타낸다. 각 도면은 순서대로, 실시예 샘플 A, B, 참고예 샘플 C, 비교예 샘플 X1, 참고예 샘플 X2, 비교예 샘플 X3, 실시예 샘플 D 및 비교예 샘플 Y의 경우를 나타내고, 도면 중의 (a)는 실측의 주표면 형상을 상면에서 본 등고선 분포도, (b)는 대각선 방향의 높이분포 곡선도, 그리고 (c)는 유리 기관 중심을 횡단하는 종축, 횡축을 따른 높이분포 곡선도를 나타낸다. 또, 각 도면 (a) 중의 좌측의 평면도의 종축, 횡축의 단위는 평탄도 측정에 이용한 계측장치의 픽셀의 번호를 나타낸다. 픽셀의 사이즈는 1개당 0.77mm 이다. 따라서, 유리 기관의 중심을 기준으로 한 146mm×146mm 사각형의 내측 영역을 측정하고 있다. 등고선은 10nm 간격으로 플롯했다. 오른쪽 옆(右横)에 나타내어진 Z의 단위는  $\mu\text{m}$ 이다. 각 도면 (b) 및 (c)의 횡축은 평탄도 측정에 이용한 픽셀의 번호이고, 종축은 높이를 나타내며, 그 단위는  $\mu\text{m}$ 이다.

[0137] 실시예 샘플 A, B, 참고예 샘플 C, 비교예 샘플 X1, 참고예 샘플 X2, 비교예 샘플 X3의 6장의 유리 기관에 대해서는, 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원영역에서 주표면과 가상 기준면과의 피팅을 실시하여 차분형상(차분 데이터)을 산출했다. 유리 기관의 중심을 기준으로 한 직경 104mm의 원영역에서 표면형상 분포를 다시 표시한 주표면 형상의 예를 도 5, 7, 9, 11, 13 및 15에 나타낸다. 각 도면은 순서대로, 실시예 샘플 A, B, 참고예 샘플 C, 비교예 샘플 X1, 참고예 샘플 X2 및 비교예 샘플 X3의 경우를 나타내고, 도면 중의 (a)는 실측의 주표면 형상의 등고선 분포도(실측의 주표면), (b)는 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의된 가상 기준면(직경 104mm)을 등고선 분포도로 나타낸 것, 그리고 (c)는 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상(차

분 데이터)을 등고선 분포도로 나타낸 것이다.

[0138] 실시예 샘플 D 및 비교예 샘플 Y의 2장의 유리 기판에 대해서는, 기판의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원영역에서 주표면과 가상 기준면과의 피팅을 실시하여 차분형상(차분 데이터)을 산출했다. 유리 기판의 중심을 기준으로 한 직경 90mm의 원영역에서 표면형상 분포를 다시 표시한 주표면 형상의 예를, 실시예 샘플 D의 것을 도 17에, 비교예 샘플 Y의 것을 도 19에 각각 나타낸다. 도 17 및 도 19 중의 (a)는 실측의 주표면 형상의 등고선 분포도(실측의 주표면), (b)는 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식에 의해 정의된 가상 기준면(직경 90mm)을 등고선 분포도로 나타낸 것, 그리고 (c)는 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상(차분 데이터)을 등고선 분포도로 나타낸 것이다.

[0139] 또한 여기에서의 제르니케 다항식으로는 애리조나 대학 표기의 것을 이용하고, 그 1에서 6항까지 사용하여 실측형상에 가깝도록 피팅을 실시해 가상 기준면을 생성했다. 단, 전술한 바와 같이, 이것은 일실시예이며, 제르니케 다항식으로서 애리조나 대학 표기의 것에 한정하는 것은 아니다. 표준 제르니케 표기나 프린지 제르니케 표기 등의 다른 표기 방식을 적용한 경우에서도, 마찬가지로의 가상 기준면을 얻는 것은 가능하다. 또한 등고선은 5nm 간격으로 플롯하고 있다.

[0140] 본 실시예 등에서 사용한 애리조나 대학 표기의 제르니케 다항식의 각 항은, 표 1과 같다. 각 항은 반경이  $\rho$ , 위상(방위각)이  $\theta$ 인 극좌표계로 표기되어 있다. 표 1에 있어서,  $j$ 는 항의 번호(제 $j$ 항)이며,  $Z_j(\rho, \theta)$ 는 그 번호의 항의 내용이다. 표 1에서는 참고로 제10항까지 표기했지만, 본 실시예 등에서 사용한 것은 제6항까지이다.

[0141] [표 1]

j	n	m	$Z_j(\rho, \theta)$
1	0	0	1
2	1	1	$2\rho \cos \theta$
3	1	1	$2\rho \sin \theta$
4	2	0	$\sqrt{3}(2\rho^2 - 1)$
5	2	2	$\sqrt{6}\rho^2 \sin 2\theta$
6	2	2	$\sqrt{6}\rho^2 \cos 2\theta$
7	3	1	$\sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho) \sin 2\theta$
8	3	1	$\sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho) \cos 2\theta$
9	3	3	$\sqrt{8}\rho^3 \sin 3\theta$
10	3	3	$\sqrt{8}\rho^3 \cos 3\theta$

[0142]

[0143] <실시예>

[0144] 실시예인 샘플 A 및 B의 기계적 평탄도는 최고점의 절대치와 최저점에서의 절대치의 합계인 TIR(Total Indicator Reading)로 표시하여, 146mm×146mm 영역의 경우는 각각 216nm와 249nm였다. 전사 노광 영역(숫 영역)이 들어가는 132mm×132mm 영역의 경우는 각각 138nm와 148nm로, 양측 모두 200nm 이하였다. 또 104mm 직경의 원영역의 경우는 각각 55nm와 46nm였다. 이 2장의 샘플의 기계적 평탄도의 최소치는 104mm 직경의 원영역의 경우에서 46nm로, ArF 노광의 노광 파장  $\lambda$ (193nm)의  $\lambda/8$ 인 25nm(소수점 이하 절상)의 두 배 가까운 값이었다.

[0145] 한편, 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상(차분 데이터)으로부터 산출되는 본 발명에 의한 광학적 평탄도의 관점에서는, 104mm 직경의 원영역 내에서의 그 평탄도 지표의 하나인 PV치는, 실시예 샘플 A, B의 순으로 기재하여 14nm와 15nm였다. 이 방법에 의해, ArF 노광의 노광 파장  $\lambda$ 의  $\lambda/8$ 인 25nm(소수점 이하 절상)를 실시예 샘플 A, B 모두 큰 폭으로 밀돌고,  $\lambda/10$ 도 밀도는 매우 평탄한 광학적 평탄도를 갖는 마스크 블랭크용 기판을 선별 취득할 수 있었다.

[0146] 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상(차분 데이터)의 결정계수( $R^2$ )를 도 20에 나타낸다. 동 도면에서는, 가상 기준면의 계산 시에, 제르니케 다항식의 차수를 1에서 4까지 사용한 경우(도면 중의 「Z1-4」에 대응)에서부터, 1에서 17(도면 중의 「Z1-17」에 대응)까지 사용한 경우까지 계산했다. 제르니케 다항식으로는 애리조나 대학 표기를 이용했다. 샘플 A, B, C, X1, X2 및 X3 모두 고차의 항까지 사용할수록 결정계수( $R^2$ )는 1에 가



카워지고, 특히 15항 이상까지 사용하면, 결정계수( $R^2$ )는 0.9를 넘었다. 한편, 전술과 같이 6차를 넘은 고차의 항으로 마스크 블랭크용 기관의 가상 기준면 조정을 실시하면, 노광 조건에 의한 투영 렌즈의 수차 보정 변화로 인하여, 수고가 드는 것에 비해 효과를 얻을 수 없다. 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 반경과 관련되는 변수의 차수가 2차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식의 1에서 6항까지 사용한(도면 중의 「Z1-6」에 대응) 마스크 블랭크용 기관의 선별로, 결정계수( $R^2$ )가 0.9를 넘는 샘플 A, B, C 및 X3를 얻었다. 다만, 후술의 비교예에서 나타내는 바와 같이, 비교예 샘플 X3의 PV치는 26nm로, 그 값은  $\lambda/8$ 를 넘어서고 있다. 또, 참고예 샘플 C는 후술과 같이, 104mm 직경의 원영역의 광학적 평탄도와 결정계수( $R^2$ )는 선택 기준치를 만족시켰지만, 132mm×132mm 영역의 기계적 평탄도가 281nm로, 200nm 이하에는 들어가지 않았다.

[0147] 선별 취득된 고평탄 마스크 블랭크용 기관인 실시예 샘플 A와 B는, 직경 104mm의 원 내에서 파면 수차가  $\lambda/8$  이하이고, 또한 결정계수( $R^2$ )는 0.9를 넘으며, 또 132mm×132mm 영역의 경우에서의 기계적 평탄도는 0.2 $\mu$ m 이하이다. 이 마스크 블랭크용 기관을 사용하여 제조된 마스크를 이용해 노광을 실시한 바, 초점 여유도, 위치 어긋남 및 해상도가 뛰어나고, [노광방법 및 그것을 이용한 디바이스의 제조방법]에서 전술한 바와 같이, 그것을 사용하여 제조되는 반도체 디바이스의 회로 특성도 안정되어 있었다.

[0148] 한편, 또 하나의 실시예인 샘플 D의 기계적 평탄도는, 최고점의 절대치와 최저점에서의 절대치의 합계인 TIR(Total Indicator Reading)로 표시하여, 146mm×146mm 영역의 경우는 422nm였다. 전사 노광 영역(숫 영역)이 들어가는 132mm×132mm 영역의 경우는 167nm로, 200nm 이하였다. 또, 90mm 직경의 원영역의 경우는 63nm로, ArF 노광의 노광 파장( $\lambda$ )(193nm)의  $\lambda/8$ 인 25nm(소수점 이하 절상)의 두 배 이상의 값이었다.

[0149] 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상(차분 데이터)으로부터 산출되는 본 발명에 의한 광학적 평탄도의 관점에서는, 그 평탄도 지표의 하나인 PV치는, 이 실시예 샘플 D에서는 90mm 직경의 원영역 내에서 17nm였다. 이 방법에 의해, ArF 노광의 노광 파장( $\lambda$ )의  $\lambda/8$ 인 25nm(소수점 이하 절상)를 실시예 샘플 D는 큰 폭으로 밀돌고,  $\lambda/10$ 도 밀도는 매우 평탄한 광학적 평탄도를 갖는 마스크 블랭크용 기관을 선별 취득할 수 있었다. 또, 이 실시예 샘플 D에서의 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상(차분 데이터)의 결정계수( $R^2$ )는 0.943로, 0.9를 넘어서고 있었다.

[0150] 선별 취득된 고평탄 마스크 블랭크용 기관인 실시예 샘플 D는, 직경 90mm의 원 내에서 파면 수차가  $\lambda/8$  이하이고, 또한 결정계수( $R^2$ )는 0.9를 넘으며, 또 132mm×132mm 영역의 경우에서의 기계적 평탄도는 0.2 $\mu$ m 이하이다. 이 마스크 블랭크용 기관을 사용하여 제조된 마스크를 이용해 노광을 실시한 바, 초점 여유도, 위치 어긋남 및 해상도가 뛰어나고, [노광방법 및 그것을 이용한 디바이스의 제조방법]에서 전술한 바와 같이, 그것을 사용하여 제조되는 반도체 디바이스의 회로 특성도 안정되어 있었다.

[0151] <비교예>

[0152] 비교예 샘플 X1과 X3의 기계적 평탄도는 TIR로 표시하여, 146mm×146mm 영역의 경우는 각각 163nm와 282nm이며, 132mm×132mm 영역의 경우는 각각 71nm와 239nm였다. 비교예 샘플 X1의 132mm×132mm 영역의 TIR의 값 71nm는, 실시예 샘플 A의 138nm나 B의 148nm의 거의 절반이다. 또, 104mm 직경의 원영역의 경우는 각각 40nm와 75nm였다. 비교예 샘플 X1의 이 값 40nm도 실시예 샘플 A의 55nm나 B의 46nm보다 뛰어난 값이다. 한편, 그 104mm 직경의 원영역에서의 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상으로부터 산출되는 본 발명에 의한 광학적 평탄도의 지표인 PV치는, 비교예 샘플 X1이 30nm, X3가 26nm로, ArF 노광의 노광 파장  $\lambda$ 의  $\lambda/8$ 인 25nm를 양쪽 비교예 샘플 X1, X3 모두 만족시키지 못했다. 또, 기계적 평탄성을 나타내는 TIR의 대소와 광학적 평탄도의 대소 사이에는 상관이 없고,  $\lambda/8$ 라는 매우 평탄한 평탄도를 얻기 위해서는 본 발명에 따른 광학적 평탄도에 의한 선별 취득이 매우 유효한 것을 알 수 있었다.

[0153] 비교예 샘플 Y의 기계적 평탄도는 TIR로 표시하여, 146mm×146mm 영역의 경우는 441nm이고, 132mm×132mm 영역의 경우는 107nm였다. 비교예 샘플 Y의 132mm×132mm 영역의 TIR의 값 107nm는 실시예 샘플 D보다 뛰어난 수치였다. 또, 90mm 직경의 원영역의 경우는 51nm였다. 비교예 샘플 Y의 이 값 51nm도 실시예 샘플 D의 63nm보다 뛰어난 값이다. 한편, 그 90mm 직경의 원영역에서의 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상으로부터 산출되는 본 발명에 의한 광학적 평탄도의 지표인 PV치는, 이 비교예 샘플 Y에서는 36nm로, ArF 노광의 노광 파장( $\lambda$ )의  $\lambda/8$ 인 25nm를 만족시키지 못했다. 또, 기계적 평탄성을 나타내는 TIR의 대소와 광학적 평탄도의 대소 사이에는 상관이 없고,  $\lambda/8$ 라는 매우 평탄한 평탄도를 얻기 위해서는 본 발명에 따른 광학적 평탄도에 의한 선

별 취득이 매우 유효한 것을 알 수 있었다.

[0154] <참고예 1>

[0155] 참고예 샘플 C의 기계적 평탄도는 TIR로 표시하여, 146mm×146mm 영역의 경우는 346nm이고, 132mm×132mm 영역의 경우는 281nm, 104mm 직경의 원영역의 경우는 81nm였다. 이 값은 8 샘플 중에서 가장 큰 값이었다. 특히 전사 노광 영역(shot 영역)이 들어가는 132mm×132mm 영역에서는 200nm(0.2 $\mu$ m)를 넘어서고 있었다. 한편, 그 104mm 직경의 원영역에서의 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상으로부터 산출되는 본 발명에 의한 광학적 평탄도는, PV치로 표시하여 13nm로, ArF 노광의 노광 파장( $\lambda$ )의  $\lambda/8$ 인 25nm의 반에 가까워 매우 양호한 값이었다. 이 마스크 블랭크용 기관을 사용하여 마스크를 제조하고, 스캐너에 의한 전사 평가를 실시한 바, shot 중심부는 실시예와 마찬가지로 초점 여유도, 위치 어긋남 및 해상도가 뛰어났지만, 주변부에서는 저하되어 있었다.

[0156] <참고예 2>

[0157] 참고예 샘플 X2의 기계적 평탄도는 TIR로 표시하여, 146mm×146mm 영역의 경우는 126nm이고, 132mm×132mm 영역의 경우는 81nm, 104mm 직경의 원영역의 경우는 29nm였다. 이 값은 비교예 샘플 X1과 나란히 작은 값이다. 한편, 그 104mm 직경의 원영역에서의 실측의 주표면과 가상 기준면과의 차분형상으로부터 산출되는 본 발명에 의한 광학적 평탄도는, PV치로 표시하여 19nm로, ArF 노광의 노광 파장( $\lambda$ )의  $\lambda/8$ 인 25nm 이하로 양호한 값이었다. 그러나, 결정계수( $R^2$ )는 0.637로 작아, 104mm 직경의 원영역 전체에서의 광학적 평탄면(가상 기준면)과의 피팅 피리가 눈에 띄었다.

[0158] [마스크 블랭크의 제조]

[0159] 여기에서는, 하프톤용 마스크 블랭크를 제조한 예를 나타낸다. 우선 전술의 방법으로 제조하여, 선별 기준을 통과한 마스크 블랭크용 기관(실시에 샘플 A, B, D)을 준비하고, 그 위에 질화된 몰리브덴 및 실리코스로 이루어지는 광반투과막을 형성했다. 구체적으로는, 몰리브덴(Mo)과 실리콘(Si)의 혼합 타겟(Mo:Si=10mol%:90mol%)을 이용하고, 아르곤(Ar)과 질소( $N_2$ )와 헬륨(He)의 혼합가스 분위기(가스 유량비 Ar: $N_2$ :He=5:49:46)에서, 가스압 0.3Pa, DC전원의 전력을 3.0kW로 하여, 반응성 스퍼터링(DC 스퍼터링)에 의해 몰리브덴, 실리콘 및 질소로 이루어지는 MoSiN 막을 69nm의 막두께로 형성했다. 이어서, 상기 MoSiN 막이 형성된 기관에 대해, 가열로를 이용하여, 대기중에서 가열 온도를 450℃, 가열 시간을 1시간으로 하여 가열 처리를 실시했다. 또한 이 MoSiN 막은, ArF 엑시머 레이저에 있어서 투과율은 6.16%, 위상차가 184.4도로 되어 있었다.

[0160] 다음으로, 상기 광반투과막 위에 차광막을 성막했다. 구체적으로는, 스퍼터 타겟으로 크롬(Cr) 타겟을 이용하고, 아르곤(Ar)과 이산화탄소( $CO_2$ )와 질소( $N_2$ )와 헬륨(He)의 혼합가스 분위기(가스압 0.2Pa, 가스 유량비 Ar: $CO_2$ : $N_2$ :He=20:35:10:30)로 하고, DC전원의 전력을 1.7kW로 하여, 반응성 스퍼터링(DC 스퍼터링)에 의해 막두께 30nm의 CrOCN층을 성막했다. 계속해서, 아르곤(Ar)과 질소( $N_2$ )의 혼합가스 분위기(가스압 0.1Pa, 가스 유량비 Ar: $N_2$ =25:5)로 하고, DC전원의 전력을 1.7kW로 하여, 반응성 스퍼터링(DC 스퍼터링)에 의해 막두께 4nm의 CrN층을 성막했다. 마지막으로, 아르곤(Ar)과 이산화탄소( $CO_2$ )와 질소( $N_2$ )와 헬륨(He)의 혼합가스 분위기(가스압 0.2Pa, 가스 유량비 Ar: $CO_2$ : $N_2$ :He=20:35:5:30)로 하고, DC전원의 전력을 1.7kW로 하여, 반응성 스퍼터링(DC 스퍼터링)에 의해 막두께 14nm의 CrOCN층을 성막하여, 합계 막두께 48nm의 3층 적층 구조의 크롬계 차광막을 형성했다. 그 후, 280℃에서 15분간의 가열 처리를 더하여, 막응력을 0근처까지 경감했다.

[0161] 본 방법에 의해 제조한 마스크 블랭크의 표면 평탄도는, ArF 노광의 노광 파장( $\lambda$ )(193nm)의  $\lambda/8$ 인 25nm 이하가 되어,  $\lambda/8$ 라는 충분한 파면 컨트롤이 이루어진 마스크 블랭크가 되었다.

[0162] 또한 상기 마스크 블랭크의 제조방법에서는, 마스크 블랭크용 기관의 평탄도를 측정하고, 상기의 가상 기준면과 차분형상의 데이터를 취하여, 광학 평탄도 선별을 실시한 후, 박막을 형성하여 마스크 블랭크를 제조했지만, 박막 형성과 광학 평탄도 선별의 순서를 반대로 해도 된다. 즉, 마스크 블랭크용 기관상에 박막을 형성한 후, 마스크 블랭크의 평탄도를 측정하고, 상기의 가상 기준면과 차분형상의 데이터를 취하여, 광학 평탄도 선별을 실시해도 된다.

[0163] [전사용 마스크의 제조 및 반도체 디바이스의 제조]

[0164] 여기에서는, 전술의 방법으로 제조한 마스크 블랭크상의 박막에 대해 패턴 형성을 실시하여 전사 마스크를 제조

했다. 전사용 마스크의 제조 공정에 대해서는, 상기 [전사용 마스크 및 그 제조방법]에서 기재한 방법과 같으므로 설명은 생략한다.

[0165] 본 방법으로 제조된 전사용 마스크의 전사 주면(主面)의 광학적 평탄도는 노광 파장( $\lambda$ )의 1/8 이하로 매우 높아, 충분한 파면 컨트롤이 이루어진 전사 마스크를 제조하는 것이 가능해졌다. 파면 컨트롤이 충분히 이루어지기 때문에, 이 전사 마스크를 이용하여 노광을 실시하면, 초점 심도, 위치 어긋남 및 해상도가 뛰어나고, 그것을 사용하여 제조되는 반도체 디바이스의 회로 특성도 안정되어 있었다.

[0166] 또한 본 발명의 마스크 블랭크용 기관 및 마스크 블랭크에서는, 노광장치에 있어서의 수차 보정 기능에의 부하를 고려하여, 제르니케 다항식의 차수가 2차인 항까지의 수차 보정 기능을 사용한 경우의 표면형상이  $\lambda/8$  이하인 것으로 하고 있다. 그러나, 노광장치의 수차 보정 기능 등의 성능 향상이나 투영 렌즈의 품질 향상 등에 의해, 보다 많은 부하를 기관이나 마스크 블랭크의 표면형상과 관련되는 파면 수차의 보정에 할애해도 노광 전사에의 영향이 작은 경우에 있어서는, 가상 기준면의 범위를 반경과 관련되는 변수의 차수가 3차 이하인 항만으로 구성되고, 또한 변형과 관련되는 변수의 차수가 3차인 항을 1 이상 포함하는 제르니케 다항식으로 정의되는 표면형상까지 넓혀도 된다. 이와 같은 제르니케 다항식으로 정의되는 표면형상을 가상 기준면으로 함으로써, 본 발명의 마스크 블랭크용 기관이나 마스크 블랭크를 제조할 때의 제품 수율을 큰 폭으로 향상시킬 수 있다.

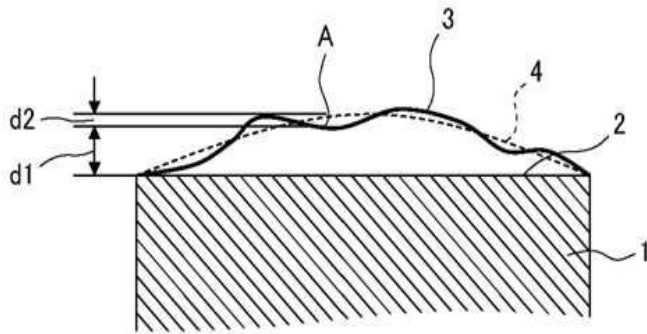
### 부호의 설명

[0167]

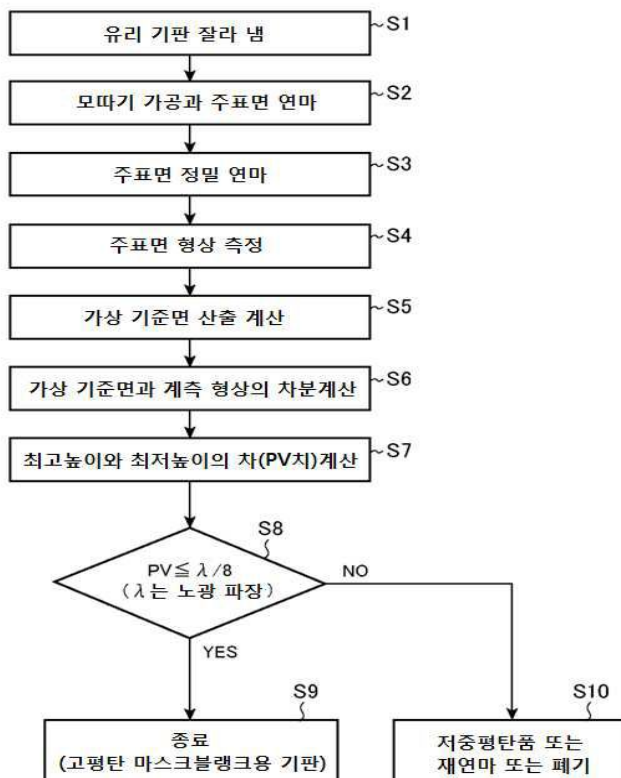
1: 마스크 블랭크용 기관	2: 기계적 평탄면	
3: 기관 주표면	4: 광학적 평탄면	21: 마스크 블랭크용 기관
22: 차광막 패턴	23: 노광광	24: 패턴 개구부
25: 필드부	26: 광반투과 패턴	31: 광원
32: 노광광	33: 조명광학계	34: 마스크
35: 투영 렌즈	36: 동공	37: 위상 필터
38: 투영 렌즈	39: 웨이퍼 스테이지	40: 웨이퍼
41: 조명부	42: 차광부	43: 조명부
44: 차광부	45: 레지스트 패턴	46: 조명부
47: 차광부	48: 레지스트 패턴	51a: 패턴 개구부
51b: 개구부	52a: 광반투과부	52b: 레지스트부
53: 오목부	55a: 패턴 개구부	55b: 개구부
56a: 광반투과부	56b: 레지스트부	57: 오목부
60: 웨이퍼		

도면

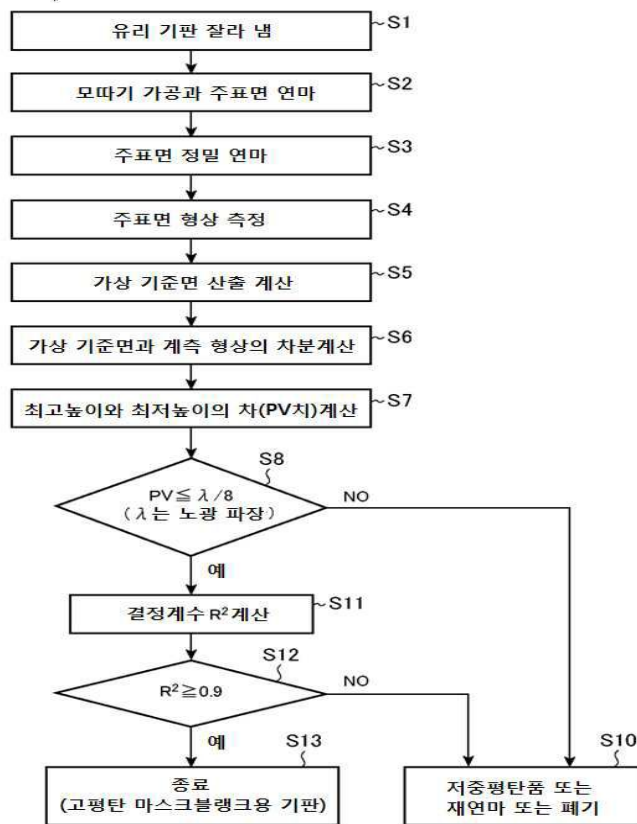
도면1



도면2

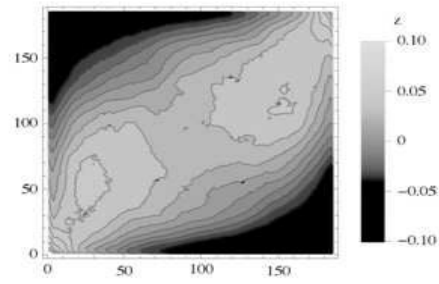


도면3

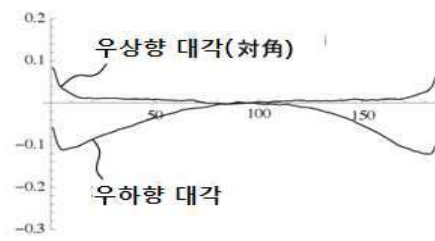


도면4

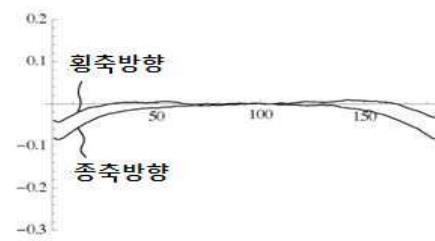
(a)



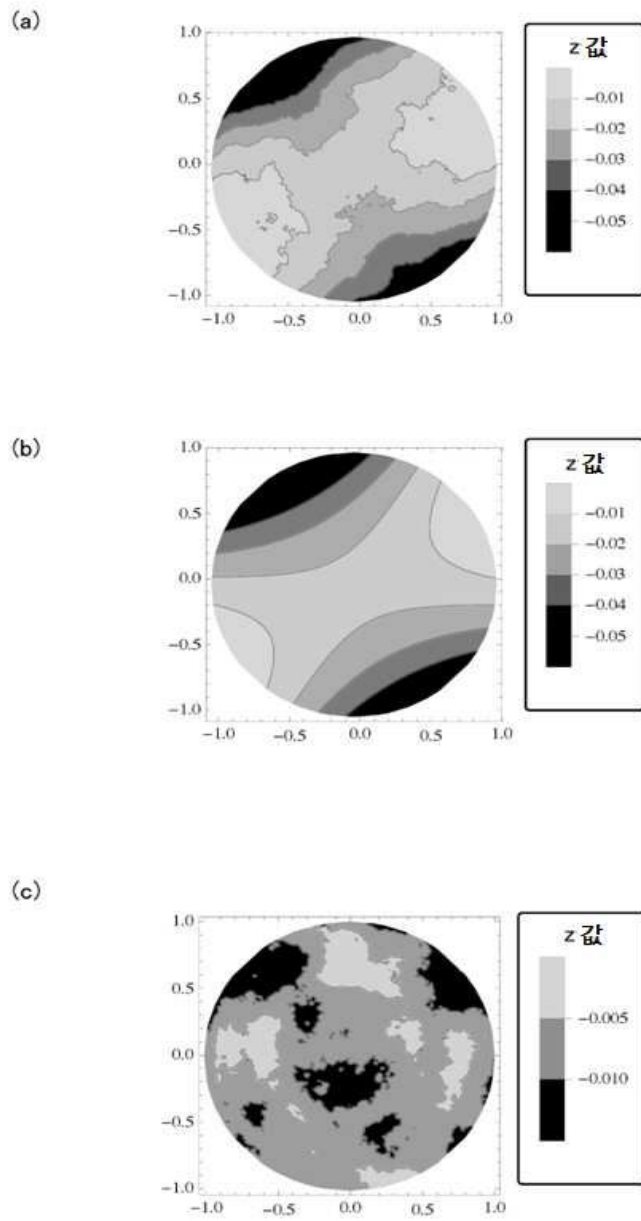
(b)



(c)

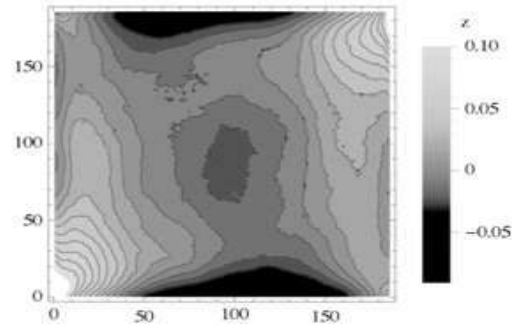


도면5

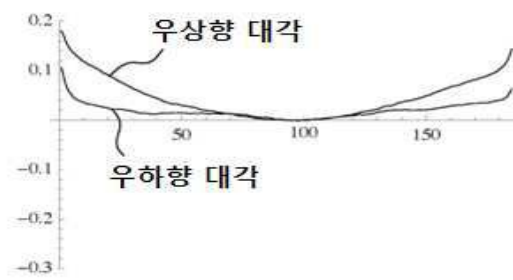


도면6

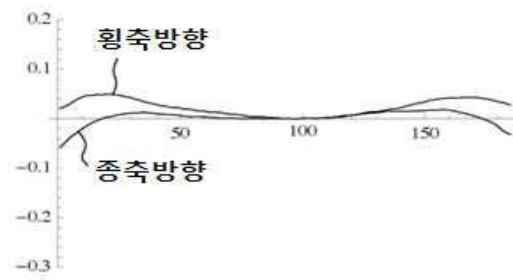
(a)



(b)

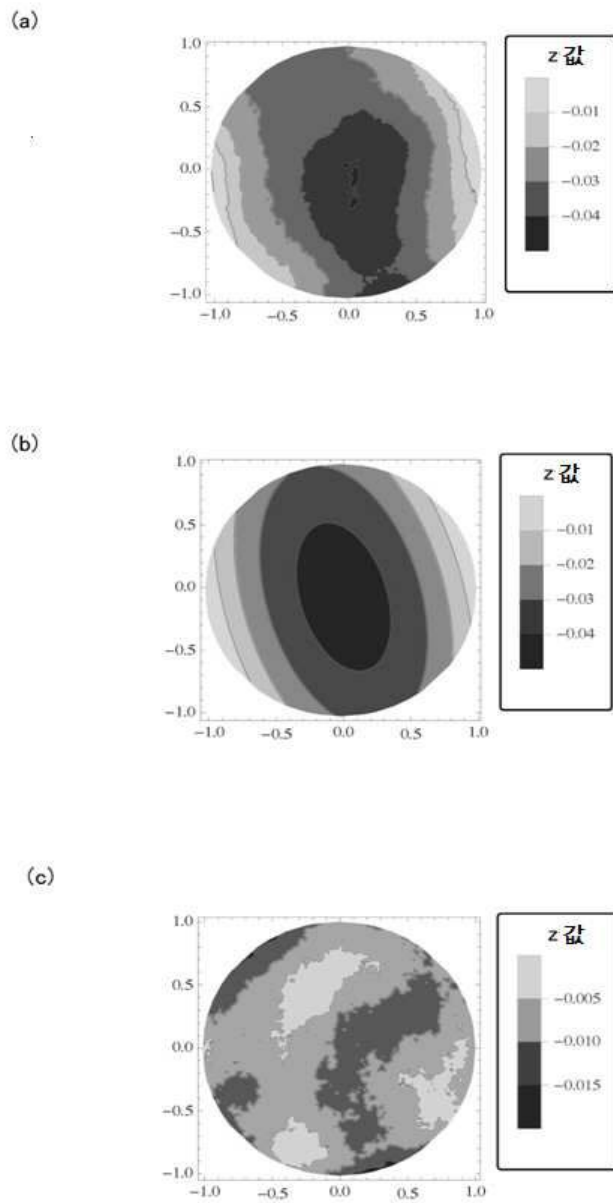


(c)



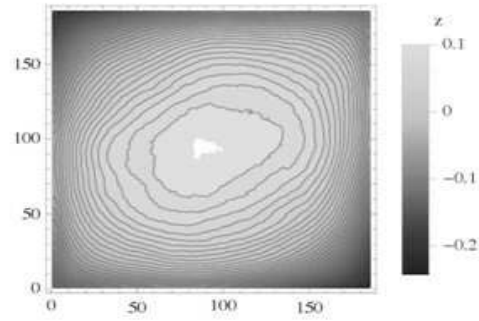


도면7

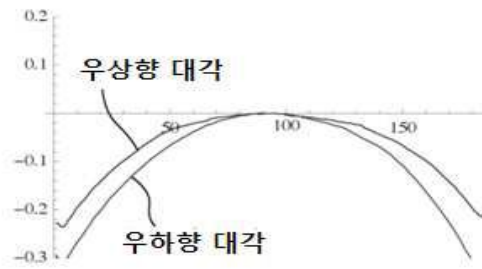


도면8

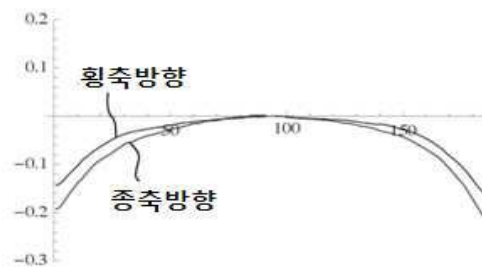
(a)



(b)

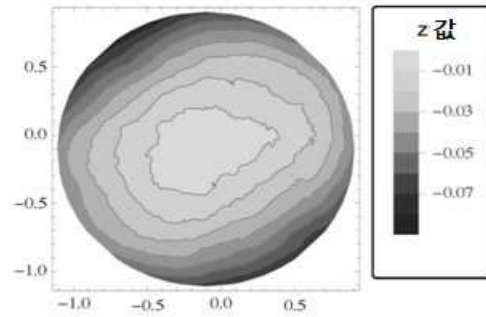


(c)

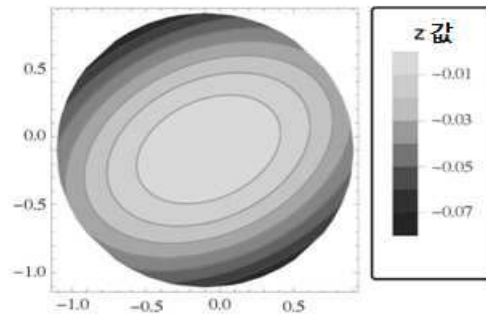


도면9

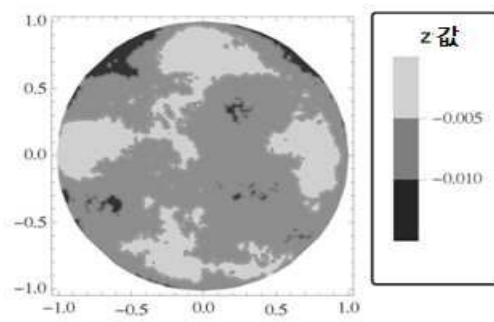
(a)



(b)

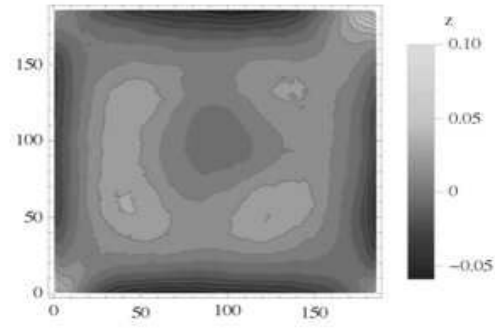


(c)

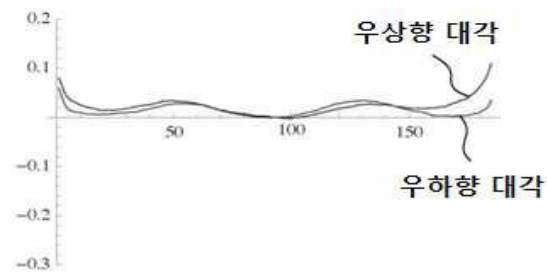


도면10

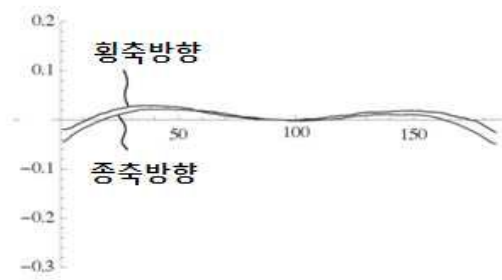
(a)



(b)

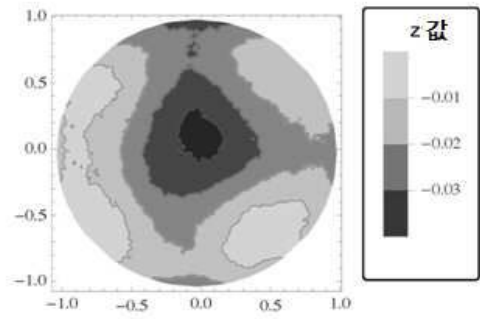


(c)

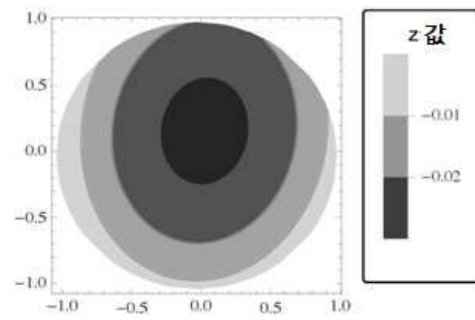


도면11

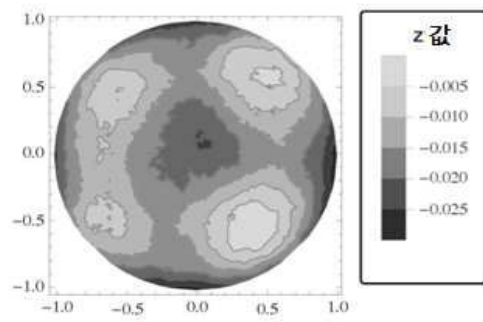
(a)



(b)

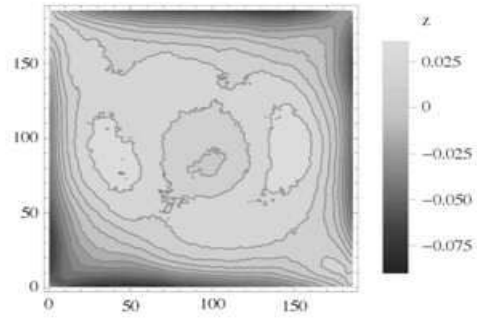


(c)

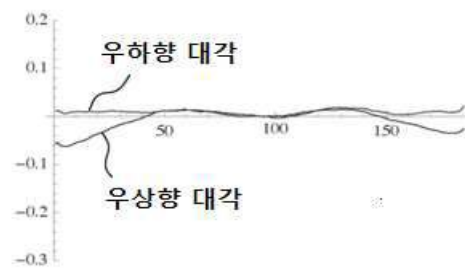


도면12

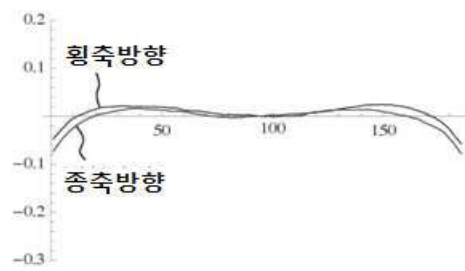
(a)



(b)

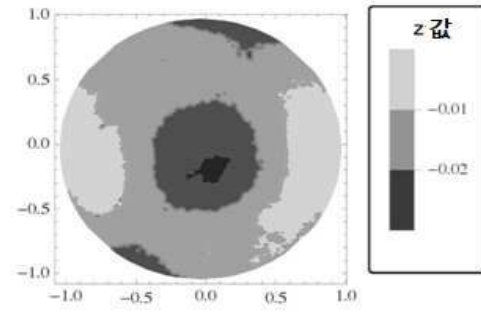


(c)

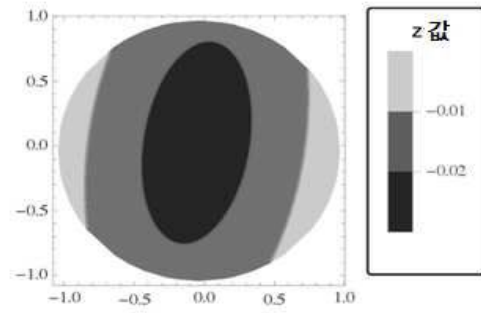


도면13

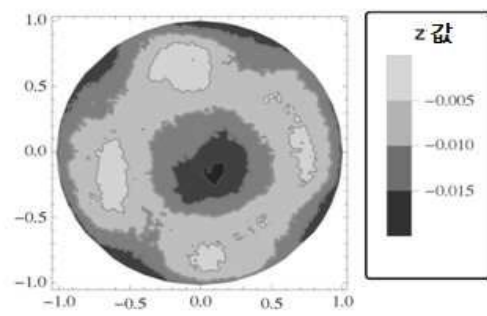
(a)



(b)

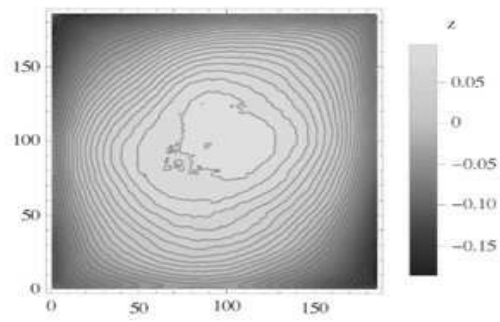


(c)

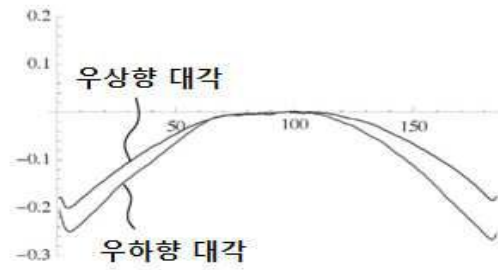


도면14

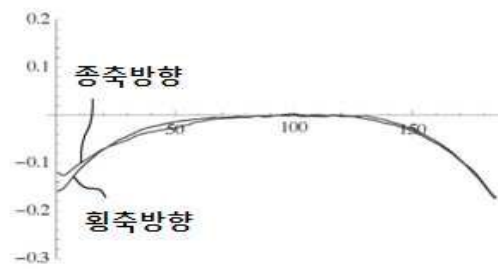
(a)



(b)



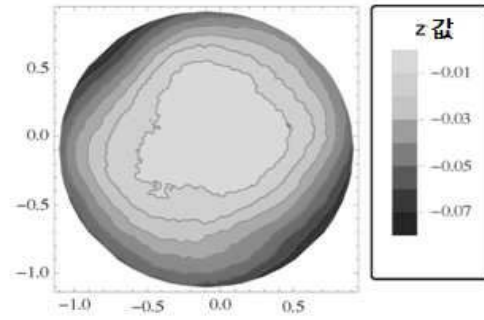
(c)



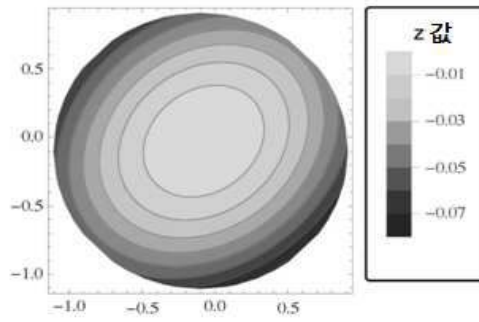


도면15

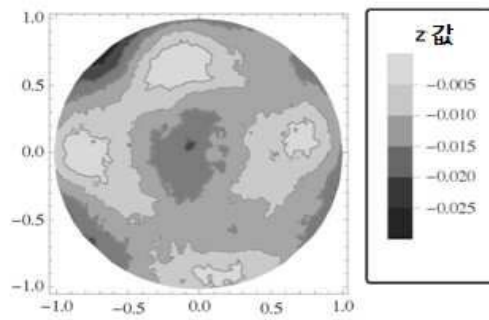
(a)



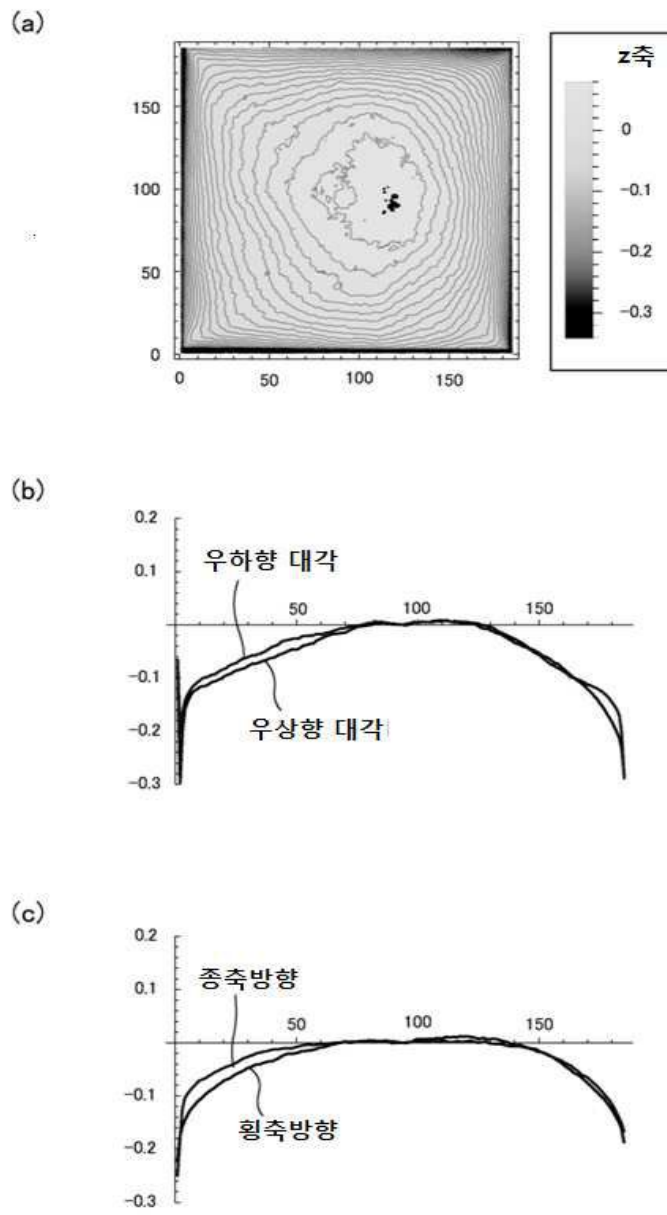
(b)



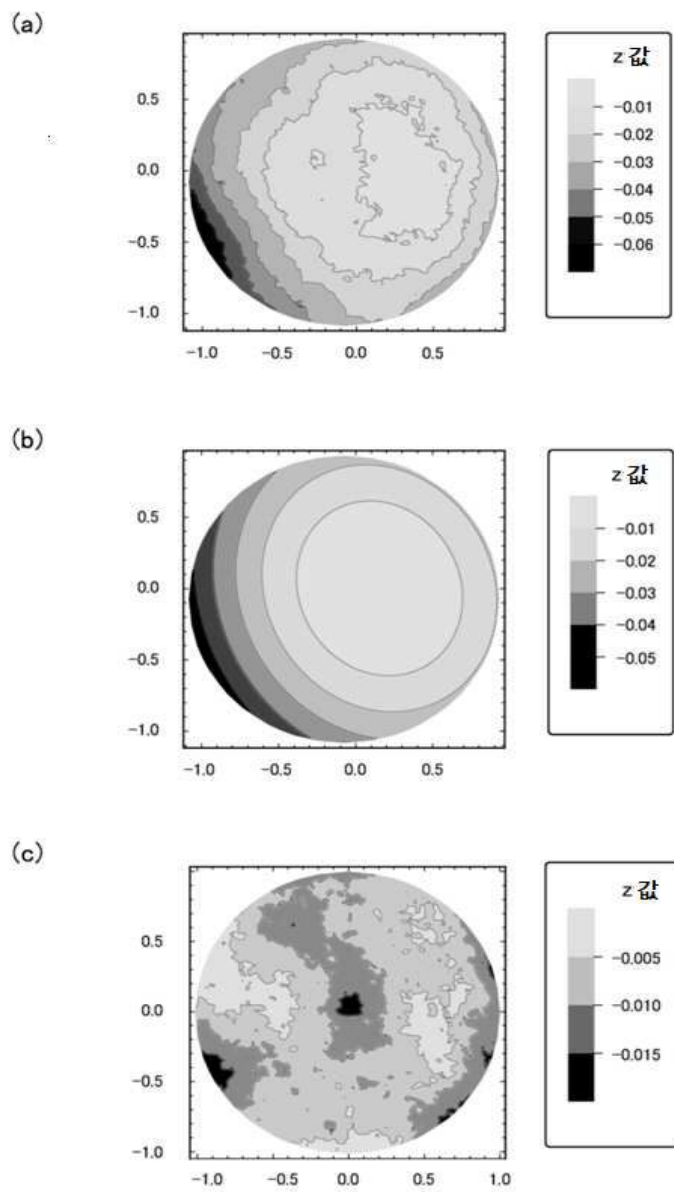
(c)



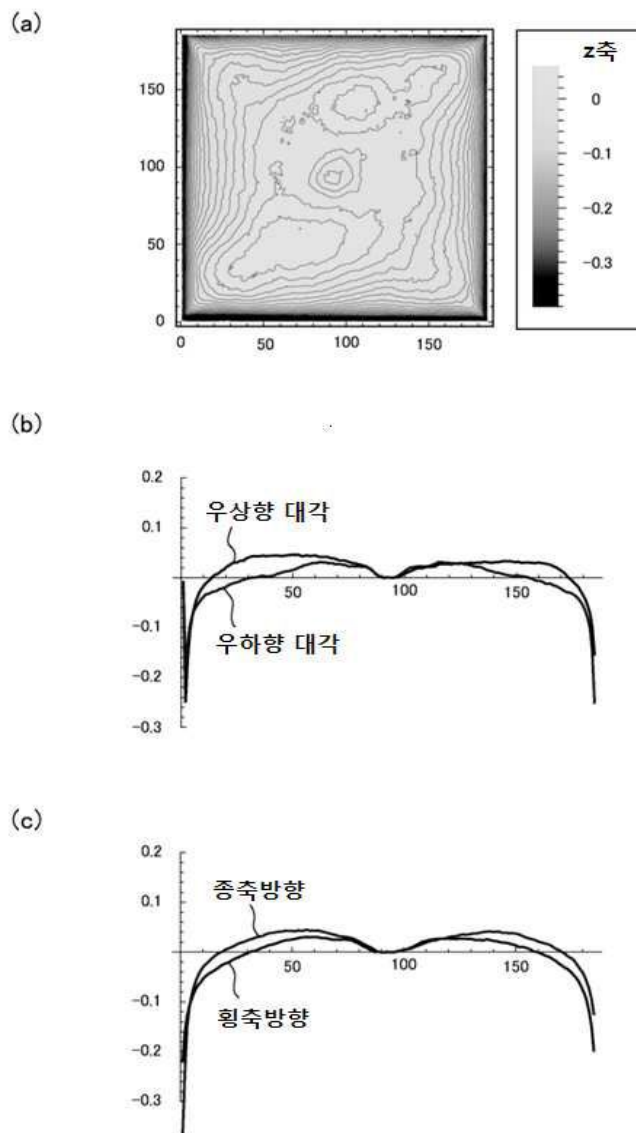
도면16



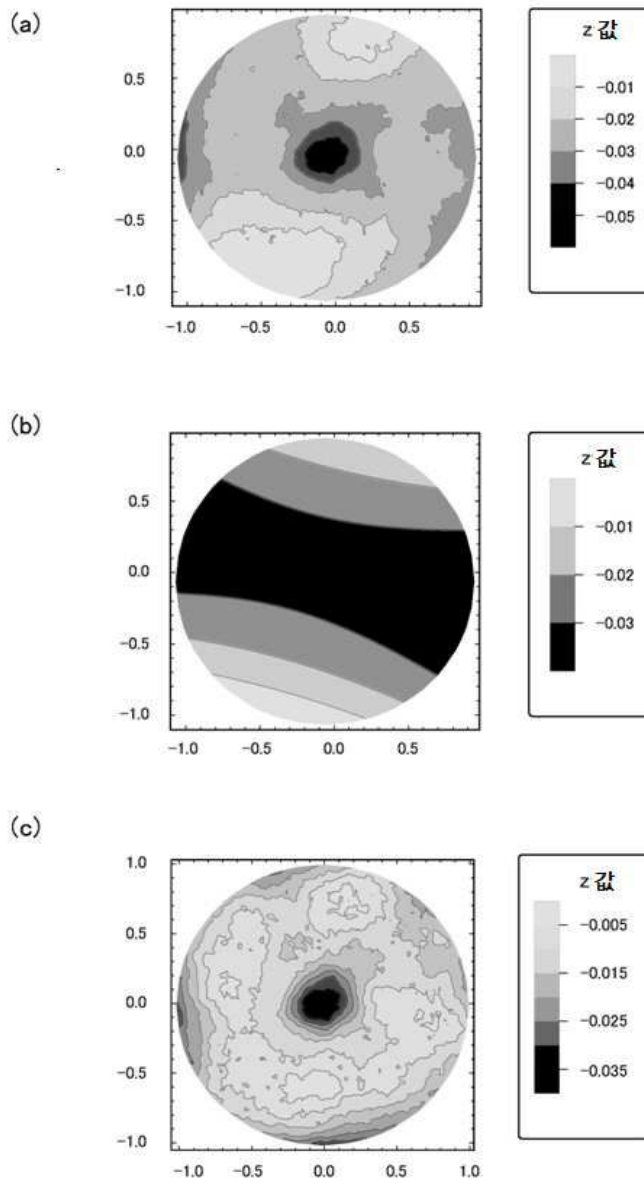
도면17



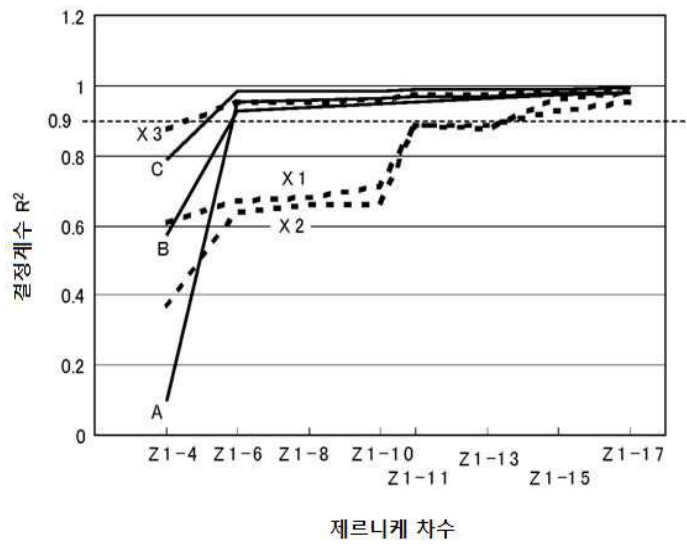
도면18



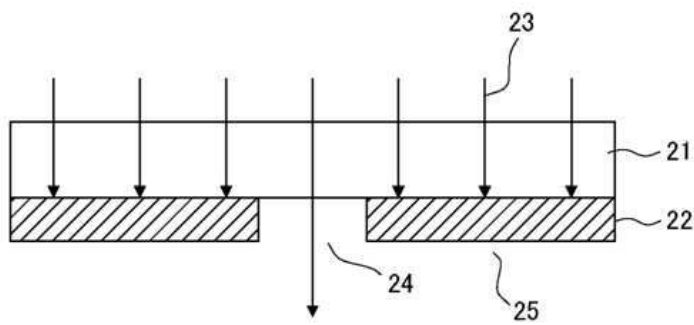
도면19



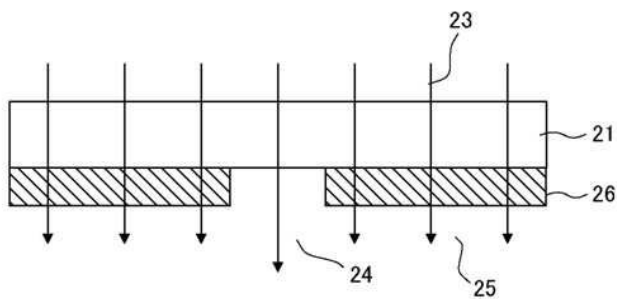
도면20



도면21

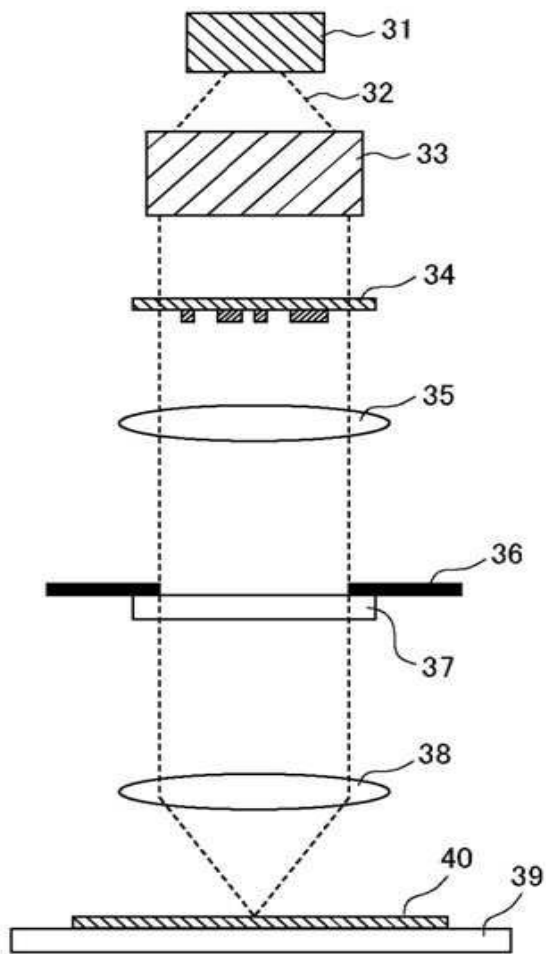


도면22

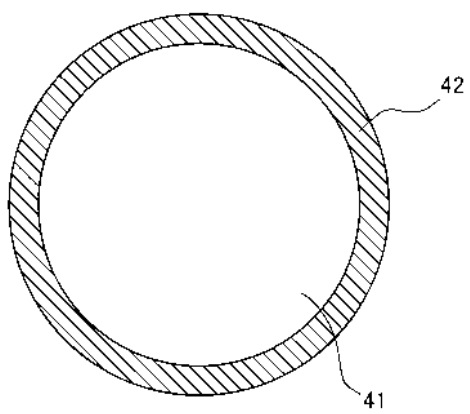




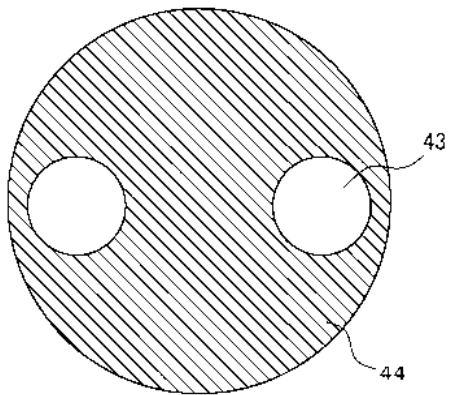
도면23



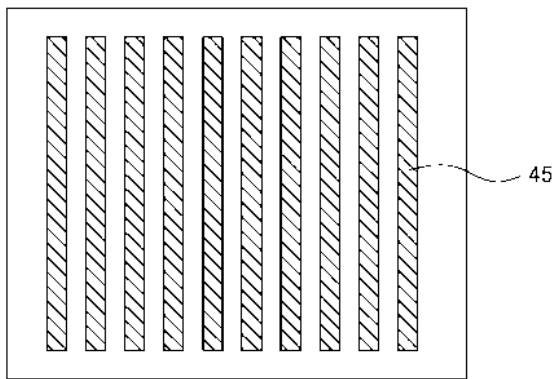
도면24



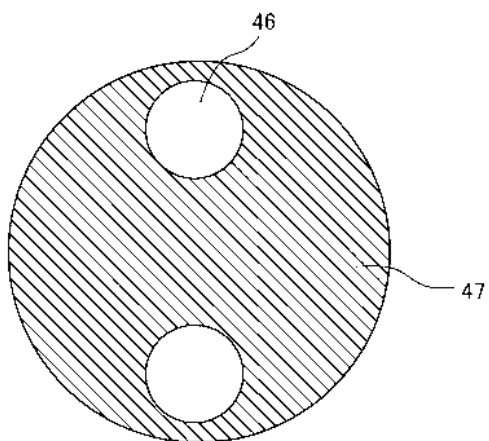
도면25



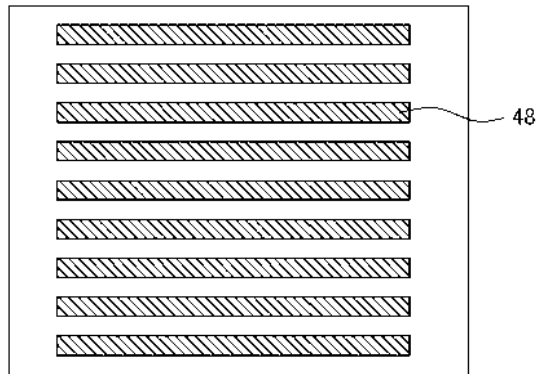
도면26



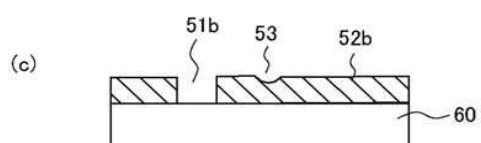
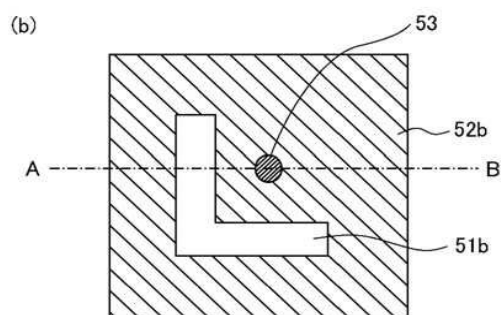
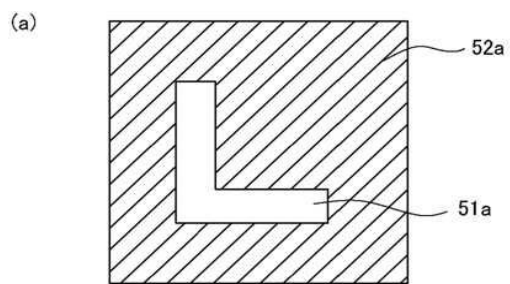
도면27



도면28



도면29



도면30

