



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0003783

(43) 공개일자 2015년01월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01B 15/04 (2006.01) G01N 23/04 (2006.01)

G02B 21/00 (2006.01) G01B 11/06 (2006.01)

G06T 1/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7030762

(22) 출원일자(국제) 2013년04월24일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2014년10월31일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2013/062127

(87) 국제공개번호 WO 2013/164971

국제공개일자 2013년11월07일

(30) 우선권주장

JP-P-2012-104953 2012년05월01일 일본(JP)

(71) 출원인

도쿄엘렉트론가부시키키가이샤

일본 도쿄도 미나토구 아카사카 5초메 3반 1고

(72) 발명자

우메하라, 야스토시

일본 도쿄도 후츄시 스미요시쵸 2-30-7 도쿄 엘렉트론 가부시키키가이샤 내

(74) 대리인

장수길, 성재동

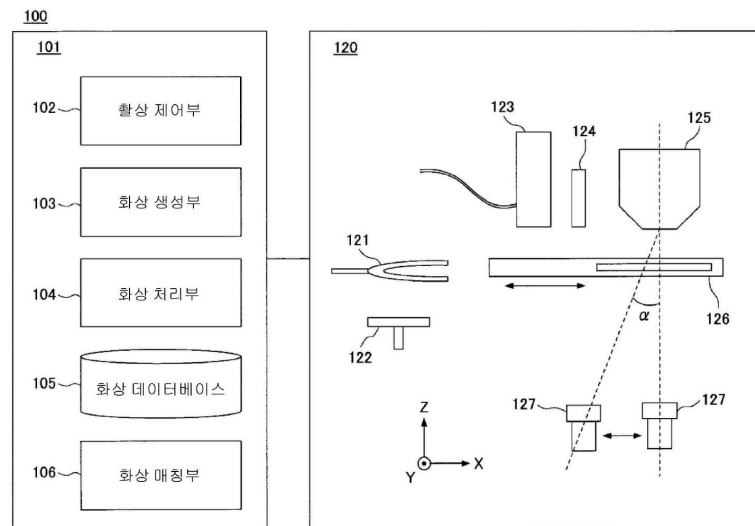
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 X선 검사 방법 및 X선 검사 장치

(57) 요약

본 발명은, 비파괴로 검사 대상의 형상 계측을 고속으로 행하는 것이 가능한 X선 검사 방법을 제공하는 것이다. 검사 대상의 형상 파라미터가 상이한 복수의 시뮬레이션 화상을 생성하는 시뮬레이션 화상 생성 스텝과, 상기 검사 대상의 X선 화상을 촬상하는 X선 촬상 스텝과, 상기 복수의 시뮬레이션 화상 중, 상기 X선 화상과의 유사성을 나타내는 평가값이 소정의 조건을 만족하는 상기 시뮬레이션 화상의 상기 형상 파라미터를, 상기 검사 대상의 형상으로서 추정하는 형상 추정 스텝을 구비하는 X선 검사 방법.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

검사 대상의 형상 파라미터가 상이한 복수의 시뮬레이션 화상을 생성하는 시뮬레이션 화상 생성 스텝과,

상기 검사 대상의 X선 화상을 촬상하는 X선 촬상 스텝과,

상기 복수의 시뮬레이션 화상 중, 상기 X선 화상과의 유사성을 나타내는 평가값이 소정의 조건을 만족하는 상기 시뮬레이션 화상의 상기 형상 파라미터를, 상기 검사 대상의 형상으로서 추정하는 형상 추정 스텝을 구비하는 것을 특징으로 하는, X선 검사 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 X선 화상으로부터, 초해상 처리에 의한 초해상 화상 및 상기 초해상 화상의 축소 화상을 생성하는 화상 생성 스텝을 구비하고,

상기 형상 추정 스텝은, 상기 축소 화상을 사용하여 상기 형상 파라미터를 추정한 후, 상기 초해상 화상을 사용하여 상기 형상 파라미터를 추정하는 것을 특징으로 하는, X선 검사 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 시뮬레이션 화상 생성 스텝은,

상기 검사 대상의 상기 형상 파라미터에 따라서 형성되는, X선의 투과율이 서로 다른 복셀의 집합체에, X선을 조사했을 때에 상기 투과율에 기초하여 상기 복셀의 집합체를 투과하는 상기 X선의 투과량을 산출함으로써, 상기 시뮬레이션 화상을 생성하는 것을 특징으로 하는, X선 검사 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 X선 화상 및 상기 복수의 시뮬레이션 화상에 에지 강조 필터 처리를 실시하는 필터 처리 스텝을 구비하고,

상기 형상 추정 스텝은, 상기 에지 강조 필터 처리가 실시된 상기 X선 화상에 기초하여 적어도 1개 이상의 상기 형상 파라미터를 추정하는 것을 특징으로 하는, X선 검사 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

X선의 투과량이 상이한 재료를 소정의 패턴으로 배열함으로써 형성된 시료의 X선 촬상 결과에 기초하여, 상기 X선 화상 또는 상기 시뮬레이션 화상의 왜곡 보정을 행하는 왜곡 보정 스텝을 구비하는 것을 특징으로 하는, X선 검사 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 평가값은, 정규화 상관, 기하학 상관 및 방향 부호 조회 중 어느 하나에 의해 산출되는 값인 것을 특징으로 하는, X선 검사 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 형상 추정 스텝은, 최적화 알고리즘을 사용하여 상기 평가값이 상기 소정의 조건을 만족하는 상기 형상 파

라미터를 추정하는 것을 특징으로 하는, X선 검사 방법.

청구항 8

검사 대상의 X선 화상과의 유사성을 나타내는 평가값에 기초하는 상기 검사 대상의 형상 추정에 사용되고, 상기 검사 대상의 형상 파라미터가 상이한 복수의 시뮬레이션 화상을 생성하는 시뮬레이션 화상 생성 스텝을 구비하는 것을 특징으로 하는, X선 검사 방법.

청구항 9

검사 대상의 X선 화상을 촬상하는 X선 촬상 스텝과,

상기 검사 대상의 형상 파라미터가 상이한 복수의 시뮬레이션 화상 중, 상기 X선 화상과의 유사성을 나타내는 평가값이 소정의 조건을 만족하는 상기 시뮬레이션 화상의 상기 형상 파라미터를, 상기 검사 대상의 형상으로서 추정하는 형상 추정 스텝을 구비하는 것을 특징으로 하는, X선 검사 방법.

청구항 10

검사 대상의 형상 파라미터가 상이한 복수의 시뮬레이션 화상을 생성하는 시뮬레이션 화상 생성 수단과,

상기 검사 대상의 X선 화상을 촬상하는 X선 촬상 수단과,

상기 복수의 시뮬레이션 화상 중, 상기 X선 화상과의 유사성을 나타내는 평가값이 소정의 조건을 만족하는 상기 시뮬레이션 화상의 상기 형상 파라미터를, 상기 검사 대상의 형상으로서 추정하는 형상 추정 수단을 구비하는 것을 특징으로 하는, X선 검사 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, X선 화상에 기초하여 검사 대상의 형상 계측을 행하는 X선 검사 방법 및 X선 검사 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근의 반도체 프로세스의 진화에 수반하여, 실리콘 웨이퍼 등에 형성되는 각종 패턴의 미세화, 고밀도화가 진행되고 있다. 이와 같이 미세하게 형성되는 각종 패턴의 형상을 계측하여 검사를 행하기 위해서 다양한 방법이 제안되어 있다.

[0003] 예를 들어, 주사형 전자 현미경(SEM)을 사용하여 신속하면서도 또한 정확하게 반도체 셀의 카운트를 행하는 반도체 검사 방법이 알려져 있다(예를 들어 특허문헌 1 참조). 또한, 예를 들어 실리콘 웨이퍼에 형성되는 실리콘 관통 전극(Through-Silicon Via, 이하, 「TSV」라고 함) 등의 검사 대상의 형상을, SEM이나 X선 CT 장치를 사용하여 계측 및 검사하는 방법이 알려져 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제2010-171022호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 그러나, 예를 들어 SEM을 사용하여 검사를 행하는 경우에는, FIB(Focused Ion Beam) 등에 의해 실리콘 웨이퍼를 절삭할 필요가 있으며, 절단면과 검사 대상의 중심 위치와의 어긋남 등에 의해, 계측하는 형상의 치수에 오차가 발생할 가능성이 있다. 또한, SEM 관찰시에는 절단면에서 에지의 차지 업 효과 등에 의해 휘도가 과장됨으로 인한 계측 오차가 발생할 우려가 있다. 또한, SEM상을 취득하기 위하여 실리콘 웨이퍼의 절삭 등의 작업을 필

으로 하기 때문에, 다수의 검사 대상을 모두 계측하는 것은 곤란한 경우가 있다.

[0006] 또한, 예를 들어 X선 CT 장치를 사용하여 검사를 행하는 경우에는, 촬상 가능한 크기로 실리콘 웨이퍼를 절단할 필요가 있어, SEM을 사용하여 검사하는 경우와 마찬가지로 번잡한 작업을 필요로 하고, 검사 대상 모두를 계측하는 것은 곤란한 경우가 있다. 또한, CT상의 재현에는, 고도이면서 또한 방대한 화상 처리 알고리즘을 필요로 하고, 검사 대상의 형상 측정에 많은 시간을 필요로 함과 함께, 어플리케이션 소프트웨어나 처리를 행하는 컴퓨터 등의 비용이 증대될 우려가 있다.

[0007] 본 발명은, 상기를 감안하여 이루어진 것으로, 비파괴로 검사 대상의 형상 계측을 고속으로 행하는 것이 가능한 X선 검사 방법 및 X선 검사 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 형태의 X선 검사 방법에 의하면, 검사 대상의 형상 파라미터가 상이한 복수의 시뮬레이션 화상을 생성하는 시뮬레이션 화상 생성 스텝과, 상기 검사 대상의 X선 화상을 촬상하는 X선 촬상 스텝과, 상기 복수의 시뮬레이션 화상 중, 상기 X선 화상과의 유사성을 나타내는 평가값이 소정의 조건을 만족하는 상기 시뮬레이션 화상의 상기 형상 파라미터를, 상기 검사 대상의 형상으로서 추정하는 형상 추정 스텝을 구비한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 실시 형태에 따르면, 비파괴로 검사 대상의 형상 계측을 고속으로 행하는 것이 가능한 X선 검사 방법 및 X선 검사 장치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 실시 형태에 따른 X선 검사 장치의 개략 구성을 예시하는 도면이다.
 도 2는 실시 형태에 따른 X선 촬상 장치에 의해 촬상되는 X선 화상을 예시하는 도면이다.
 도 3은 실시 형태에 따른 화상 처리 장치의 하드웨어 구성을 예시하는 도면이다.
 도 4a는 실시 형태에서의 TSV의 형상 파라미터를 예시하는 도면이다.
 도 4b는 실시 형태에서의 TSV의 형상 파라미터를 예시하는 도면이다.
 도 5a는 실시 형태에서 형상 파라미터에 기초하여 생성되는 시뮬레이션 화상을 예시하는 도면이다.
 도 5b는 실시 형태에서 형상 파라미터에 기초하여 생성되는 시뮬레이션 화상을 예시하는 도면이다.
 도 6은 실시 형태에서의 시뮬레이션 화상의 생성 방법을 설명하는 도면이다.
 도 7은 실시 형태에서의 화상 생성부에 의한 시뮬레이션 화상의 생성 처리의 흐름도를 예시하는 도면이다.
 도 8은 실시 형태에서의 화상 처리부에 의한 화상 왜곡 보정 처리의 흐름도를 예시하는 도면이다.
 도 9는 실시 형태에서 화상 왜곡 보정에 사용하는 체커보드 패턴을 예시하는 도면이다.
 도 10은 실시 형태에서의 시뮬레이션 화상의 화상 왜곡 보정을 예시하는 도면이다.
 도 11은 실시 형태에서의 검사 대상의 형상 추정 처리의 흐름도를 예시하는 도면이다.
 도 12는 실시 형태에서의 X선 촬상 장치에 의한 X선 화상으로부터 생성되는 초해상 화상 및 축소 화상을 예시하는 도면이다.
 도 13은 실시 형태에서의 X선 촬상 장치에 의한 X선 화상으로부터 생성되는 축소 화상을 예시하는 도면이다.
 도 14는 실시 형태에서의 매칭 처리의 흐름도를 예시하는 도면이다.
 도 15는 실시 형태에서의 매칭 스코어의 산출 결과를 예시하는 도면이다.
 도 16은 실시 형태에서의 축소 화상의 매칭 스코어의 산출 결과를 예시하는 도면이다.
 도 17은 실시 형태에서의 초해상 화상의 화상 잘라내기를 설명하는 도면이다.
 도 18은 실시 형태에서의 X선 화상의 소벨(sobel) 필터 처리 예를 도시하는 도면이다.

도 19는 실시 형태에서의 시뮬레이션 화상의 소벨(sobel) 필터 처리 예를 도시하는 도면이다.

도 20은 실시 형태에서의 소벨(sobel) 필터 처리 후의 X선 화상으로부터 형상 파라미터를 추출하는 예를 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 이하, 도면을 참조하여 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용에 대하여 설명한다. 또한, 본 실시 형태에서는, 검사 대상으로서 실리콘 웨이퍼에 형성되어 있는 TSV의 형상을 측정하는 방법에 대하여 설명하지만, 검사 대상은 이것에 한정되는 것이 아니다.
- [0012] <X선 검사 장치의 구성>
- [0013] 본 실시 형태에 따른 X선 검사 장치(100)의 구성에 대하여 설명한다. 도 1은, 본 실시 형태에 따른 X선 검사 장치(100)의 개략 구성을 예시하는 도면이다.
- [0014] 도 1에 도시하는 바와 같이, X선 검사 장치(100)는, 화상 처리 장치(101)와 X선 촬상 장치(120)를 구비하고, X선 촬상 장치(120)가 검사 대상의 X선 화상을 촬상하고, 촬상된 검사 대상의 X선 화상에 기초하여, 화상 처리 장치(101)가 추정에 의해 검사 대상의 형상을 측정한다.
- [0015] 화상 처리 장치(101)는, 촬상 제어부(102), 화상 생성부(103), 화상 처리부(104), 화상 데이터베이스(105), 화상 매칭부(106) 등을 구비한다.
- [0016] 촬상 제어부(102)는, 검사 대상의 X선 화상을 촬상하는 X선 촬상 장치(120)의 X선원(125), 스테이지(126), X선 카메라(127) 등을 포함하는 전체의 동작을 제어하여, X선 촬상 장치(120)가 촬상하는 검사 대상의 X선 화상을 취득한다.
- [0017] 화상 생성부(103)는, 시뮬레이션 화상 생성 수단의 일례이며, 검사 대상이 되는 실리콘 웨이퍼의 TSV의 형상이 서로 다른 X선 화상을, 시뮬레이션에 의해 생성한다. 화상 생성부(103)는, TSV의 형상을 나타내는 형상 파라미터에 기초하여, 복수의 시뮬레이션 화상을 생성한다. 시뮬레이션 화상의 생성 방법에 대해서는 후술한다.
- [0018] 화상 처리부(104)는, 화상 생성부(103)에 의해 생성되는 시뮬레이션 화상이나, X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 X선 화상에 대하여, 왜곡 보정, 콘트라스트 보정, 해상도 보정 등의 화상 처리를 행한다.
- [0019] 화상 데이터베이스(105)는, 화상 생성부(103)에 의해 생성되고, 화상 처리부(104)에 의해 화상 처리가 실시된 복수의 시뮬레이션 화상이 라이브러리화되어서 등록된다.
- [0020] 화상 매칭부(106)는, 형상 추정 수단의 일례이며, X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상된 X선 화상과, 화상 데이터베이스(105)에 등록되어 있는 시뮬레이션 화상과의 매칭 처리를 행함으로써, TSV의 형상을 추정한다. 매칭 처리에 의한 TSV의 형상 추정 방법에 대해서는 후술한다.
- [0021] X선 촬상 장치(120)는, X선 촬상 수단의 일례이며, 포크(121), 노치 얼라이너(122), 광학 현미경(123), 두께 측정기(124), X선원(125), 스테이지(126), X선 카메라(127) 등을 구비하고, 화상 처리 장치(101)에 접속되어 있다. 도면 중에 나타내는 X 방향은 스테이지(126)의 표면에 평행한 도면 중 좌우 방향이고, Y 방향은, 스테이지(126)의 표면에 평행하면서 또한 X 방향에 수직인 방향, Z 방향은 스테이지(126)의 표면에 대한 수직 방향이다.
- [0022] X선 촬상 장치(120)에서는, 포크(121)가 TSV를 갖는 실리콘 웨이퍼를 유지하고, 노치 얼라이너(122)가 노치 위치의 조정을 행한다. 광학 현미경(123)은, 스테이지(126) 위에 적재되는 실리콘 웨이퍼의 외관 관찰 등을 행할 수 있다. 또한, 두께 측정기(124)는, 예를 들어 분광 간섭식의 두께 측정기이며, 실리콘 웨이퍼의 두께를 측정할 수 있다.
- [0023] X선원(125)은, 스테이지(126) 위에 적재되는 실리콘 웨이퍼에 대하여 X선을 조사하여, X선원(125)에 대해 스테이지(126)를 사이에 두고 반대측에 설치되어 있는 X선 카메라(127)가, 실리콘 웨이퍼의 X선 화상을 취득한다.
- [0024] X선 카메라(127)는, 예를 들어 이미지 인텐시파이어, CCD 이미지 센서 등을 구비하여 구성되고, 이미지 인텐시파이어가 검사 대상을 투과한 X선을 가시광으로 변환하고, CCD 이미지 센서가 입사되는 가시광을 전기 신호로 변환한다. X선 카메라(127)의 출력은 화상 처리 장치(101)의 촬상 제어부(102)에 입력되어, 검사 대상의 X선 화상으로서 취득된다.

- [0025] X선 카메라(127)는, 도면 중 XY 방향으로 이동 가능하게 설치되어 있고, XY 방향으로 이동함으로써, 스테이지(126)에 적재되는 검사 대상의 X선 화상을, 예를 들어 Z 방향에 대하여 소정의 각도(α) 기울어진 경사 상으로서 촬상할 수 있다.
- [0026] 도 2에, 본 실시 형태에 따른 X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 X선 화상을 예시한다.
- [0027] 도 2는, X선 카메라(127)에 의해 Z 방향에 대하여 15도 경사진 방향으로 촬상된 X선 화상이며, 본 실시 형태에서는, 이와 같이 실리콘 웨이퍼에 형성되어 있는 TSV의 전체 형상을 판별할 수 있는 X선 화상의 경사 상을 사용하여, TSV의 형상 추정을 행한다.
- [0028] <화상 처리 장치의 하드웨어 구성>
- [0029] 도 3은, 실시 형태에 따른 화상 처리 장치(101)의 하드웨어 구성을 예시하는 도면이다.
- [0030] 도 3에 도시하는 바와 같이, 화상 처리 장치(101)는, CPU(107), HDD(Hard Disk Drive)(108), ROM(Read Only Memory)(109), RAM(Read and Memory)(110), 입력 장치(111), 표시 장치(112), 기록 매체 I/F부(113), 촬상 장치 I/F부(114) 등을 구비하고, 각각이 버스(B)로 서로 접속되어 있다.
- [0031] CPU(107)는, HDD(108)나 ROM(109) 등의 기억 장치로부터 프로그램이나 데이터를 RAM(110) 상에 읽어 내어, 처리를 실행함으로써, X선 촬상 장치(120)의 제어나, 화상 처리 장치(101)가 구비하는 각 기능을 실현하는 연산 장치이다. CPU(107)는, 촬상 제어부(102), 화상 생성부(103), 화상 처리부(104), 화상 매칭부(106) 등으로서 기능한다.
- [0032] HDD(108)는, 프로그램이나 데이터를 저장하고 있는 불휘발성의 기억 장치이다. 저장되는 프로그램이나 데이터에는, 화상 처리 장치(101) 전체를 제어하는 기본 소프트웨어인 OS(Operating System), 및 OS 상에서 각종 기능을 제공하는 어플리케이션 소프트웨어 등이 있다. 또한, HDD(108)는, 화상 생성부(103)에서 생성되는 복수의 시뮬레이션 화상이 등록되는 화상 데이터베이스(105)로서 기능한다.
- [0033] ROM(109)은, 전원을 꺼도 프로그램이나 데이터를 유지할 수 있는 불휘발성의 반도체 메모리(기억 장치)이다. ROM(109)에는, 화상 처리 장치(101)의 기동시에 실행되는 BIOS(Basic Input/Output System), OS 설정, 및 네트워크 설정 등의 프로그램이나 데이터가 저장되어 있다. RAM(110)은, 프로그램이나 데이터를 일시 유지하는 휘발성의 반도체 메모리(기억 장치)이다.
- [0034] 입력 장치(111)는, 예를 들어 키보드나 마우스 등을 포함하며, 화상 처리 장치(101)에 각 조작 신호를 입력하는 데 사용된다. 표시 장치(112)는, 예를 들어 디스플레이 등을 포함하며, X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상된 검사 대상의 X선 화상이나, 시뮬레이션 화상, 형상 계측 결과 등을 표시한다.
- [0035] 기록 매체 I/F부(113)는, 기록 매체와의 인터페이스이다. 화상 처리 장치(101)는, 기록 매체 I/F(113)를 통해, 기록 매체(115)의 판독 및/또는 기입을 행할 수 있다. 기록 매체(115)에는, 플래시형 디스크, CD, DVD(Digital Versatile Disk), SD 메모리 카드(SD Memory card), USB 메모리(Universal Serial Bus memory) 등이 있다.
- [0036] 촬상 장치 I/F부(114)는, X선 촬상 장치(120)에 접속하는 인터페이스이다. 화상 처리 장치(101)는, 촬상 장치 I/F부(114)를 통해 X선 촬상 장치(120)와의 사이에서 데이터의 통신을 행할 수 있다.
- [0037] 또한, 화상 처리 장치(101)에 네트워크에 접속하는 인터페이스로서 통신 I/F 등을 설치하여, 다른 기기와 데이터 통신을 행하도록 구성해도 된다.
- [0038] <시뮬레이션 화상의 생성>
- [0039] 이어서, 화상 처리 장치(101)의 화상 생성부(103)에 의한 시뮬레이션 화상의 생성 방법에 대하여 설명한다.
- [0040] 화상 처리 장치(101)의 화상 생성부(103)는, 검사 대상이 되는 TSV의 형상 파라미터에 기초하여, X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 X선 화상에 대응하는 복수의 시뮬레이션 화상을 생성한다.
- [0041] 도 4a 및 도 4b는, 본 실시 형태에서의 TSV의 형상 파라미터를 예시하는 도면이다.
- [0042] 본 실시 형태에서는, 실리콘 웨이퍼에 형성되어 있는 TSV의 형상을 나타내는 형상 파라미터로서, 도 4a에 예시하는 6종류의 파라미터를 사용하고, 또한 X선 화상의 경사 각도(α)를 결정하기 위한 X선 카메라(127)의 X 방향 위치 및 Y 방향 위치를 파라미터로서 사용한다. 본 실시 형태에서의 TSV의 형상 파라미터는, 도 4a에 나타난 바와 같이, 개구부 반경(r_1), 홀 중간부 최대 반경(r_2), 저부 반경(r_3), 저부에 반구 형상으로 예칭된 부분의

반경(r_4), 최대 반경 부분까지의 깊이(h_1), 최대 반경부로부터 저부까지의 깊이(h_2)이다. 또한, 시뮬레이션 화상의 생성에 사용하는 파라미터의 종류, 수 등은, 상기 예에 한정되는 것이 아니라, 예를 들어 도 4b에 나타내는 바와 같은 TSV의 형상에 대응시켜서 파라미터를 설정해도 되고, 검사 대상의 형상, X선 촬상 장치(120)의 구성 등에 따라서 적절히 설정하는 것이 가능하다.

- [0043] 도 5a 및 도 5b는, 서로 다른 형상 파라미터에 기초하여 생성되는 시뮬레이션 화상을 예시하는 도면이다.
- [0044] 도 5a는, 형상 파라미터를 $r_1=20\mu\text{m}$, $r_2=24\mu\text{m}$, $r_3=18\mu\text{m}$, $r_4=20\mu\text{m}$, $h_1=40\mu\text{m}$, $h_2=72\mu\text{m}$ 로 했을 때에 화상 생성부(103)에 의해 생성된 시뮬레이션 화상이다. 또한, 도 5b는, 형상 파라미터를 $r_1=10\mu\text{m}$, $r_2=20\mu\text{m}$, $r_3=6\mu\text{m}$, $r_4=5\mu\text{m}$, $h_1=20\mu\text{m}$, $h_2=85\mu\text{m}$ 로 했을 때에 화상 생성부(103)에 의해 생성된 시뮬레이션 화상이다.
- [0045] 도 5a 및 도 5b에 나타낸 바와 같이, 화상 생성부(103)는, 서로 다른 형상 파라미터에 기초하여, X선 촬상 장치(120)에서 촬상되는 X선 화상에 대응하는 시뮬레이션 화상을 생성할 수 있다.
- [0046] 도 6은, 본 실시 형태에서의 시뮬레이션 화상의 생성 방법을 설명하는 도면이다.
- [0047] 화상 생성부(103)는, 시뮬레이션 화상을 생성할 때에, 먼저 입력되는 형상 파라미터에 따라서 X선의 투과율에 서로 다른 복셀(Voxel)(51)의 집합체를 생성한다. 이어서, 복셀(51)의 집합체에, 점 광원으로서 정의되는 X선원(50)으로부터 X선을 조사했을 때에, 각 복셀(51)의 투과율에 기초하여 X선의 투과량을 산출하고, 검출기(52)에 도달하는 양을 화상으로서 재현함으로써, 시뮬레이션 화상을 생성한다.
- [0048] 복셀(51)로서는, 도 6에 나타낸 바와 같이, 예를 들어 Air, Cu, Si 등의 재료를 정의하고, 각각의 재료에 대하여 개별로 측정되는 투과율을 사용하여 각 복셀(51)을 투과해서 검출기(52)에 도달하는 X선량을 산출한다. 복셀(51)은, 예를 들어 $0.1\mu\text{m}$ 의 입방체로 하고, 각 복셀(51)의 투과율을, 예를 들어 Air: 1, Cu: $0.981/1\mu\text{m}$, Si: $0.999/1\mu\text{m}$ 로 설정함으로써 시뮬레이션 화상을 생성할 수 있다. 또한, 복셀의 종류, 크기, 투과율 등의 각 값은 이들에 한정되는 것이 아니라, 적절히 설정할 수 있다.
- [0049] 화상 생성부(103)는, 상기의 설정에서 X선원(50)에 가까운 쪽으로부터 순서대로, 각 복셀(51)의 하면에서의 X선의 투과량을 산출하고, 검출기(52)에 도달하는 X선량을 구함으로써, 도 5a 및 도 5b에 나타낸 바와 같이, 형상 파라미터에 대응하는 시뮬레이션 화상을 생성한다.
- [0050] 도 7에, 본 실시 형태에서의 화상 생성부(103)에 의한 시뮬레이션 화상의 생성 처리의 흐름도의 일례를 나타낸다.
- [0051] 화상 생성부(103)에서는, 먼저 스텝 S1에서, TSV의 설계값을 중심으로 해서, 각 형상 파라미터 r_1 , r_2 , r_3 , r_4 , h_1 , h_2 및 검사 대상을 촬상하는 경사 각도(X선 카메라(127)의 위치) 등의 시뮬레이션 화상 생성 조건을 복수 설정한다. 예를 들어, 형상 파라미터 r_1 을, 설계값인 $20\mu\text{m}$ 를 중심으로 $19\mu\text{m}$ 부터 $21\mu\text{m}$ 까지, $0.1\mu\text{m}$ 간격으로 화상 생성 조건을 설정하고, 각 형상 파라미터 등이 서로 다른 다수의 화상 생성 조건을 설정한다.
- [0052] 이어서, 스텝 S2에서, 화상 생성부(103)가, 설정된 복수의 화상 생성 조건에 기초하여, 상기한 방법에 의해 복수의 시뮬레이션 화상을 생성한다.
- [0053] 스텝 S3에서는, 생성된 시뮬레이션 화상에 대하여, 화상 처리부(104)가 X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 X선 화상에 맞추기 위해서, 후술하는 왜곡 보정 등의 화상 보정 처리를 행한다.
- [0054] 계속해서, 스텝 S4에서, 생성한 복수의 시뮬레이션 화상과, 형상 파라미터 및 검사 대상을 촬상하는 경사 각도 등을 라이브러리화하고, 스텝 S5에서, 화상 데이터베이스(105)에 라이브러리화한 데이터를 등록하여 시뮬레이션 화상의 생성 처리를 종료한다.
- [0055] 화상 처리 장치(101)의 화상 생성부(103)는, 상기한 처리에 의해, 형상 파라미터가 서로 다른 다수의 시뮬레이션 화상을 미리 생성하여, 화상 데이터베이스(105)에 등록한다.
- [0056] <화상 왜곡 보정>
- [0057] 여기서, 화상 처리부(104)가 행하는 시뮬레이션 화상에 대한 화상 왜곡 보정에 대하여 설명한다.
- [0058] X선 검사 장치(100)의 X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 X선 화상은, 예를 들어 X선 카메라(127)가 구비하는 이미지 인텐시파이어에 기인하여, 주변부에 왜곡을 갖는 경우가 있다. 따라서, 미리 생성하는 시뮬레이션 화상에 대하여, X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 X선 화상에 맞추기 위해서, 화상 처리부(104)가 화상 왜곡 보정을 행한다.

- [0059] 도 8은, 본 실시 형태에서의 화상 처리부(104)에 의한 화상 왜곡 보정 처리의 흐름도를 예시하는 도면이다.
- [0060] 도 8에 나타난 바와 같이, 먼저 스텝 S11에서, X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 체커 보드 패턴(Checker Board Pattern, 이하, 「CBP」라고 함)의 X선 화상을 취득한다. CBP는, 예를 들어 도 9에 나타난 바와 같이, X선의 투과량이 상이한 재료를 소정의 패턴으로 배열함으로써 형성되는 시료이다. 이어서, 스텝 S12에서, CBP의 X선 화상으로부터 X선의 투과량이 상이한 재료의 교차점의 XY 좌표를 추출한다.
- [0061] 계속해서, 스텝 S13에서, 추출된 교차점의 XY 좌표로부터, 예를 들어 2차 다항식의 근사식을 구하고, 스텝 S14에서, 구해진 2차 다항식에 기초하여, CBP의 실제의 교차점의 좌표와 X선 화상에서의 교차점의 좌표의 차이로부터, 화상 왜곡량을 변환하기 위한 데이터를 생성한다.
- [0062] 마지막으로, 스텝 S15에서, 생성한 화상 왜곡량 변환 데이터에 기초하여, 화상 생성부(103)에서 생성된 시물레이션 화상에 대하여 화상 왜곡 보정을 행하고, 처리를 종료한다.
- [0063] 도 10은, 실시 형태에서의 시물레이션 화상의 화상 왜곡 보정을 예시하는 도면이다. 도 10의 왼쪽에 나타내는 화상은, 화상 생성부(103)에서 생성된 시물레이션 화상이며, 도 10의 오른쪽에 나타내는 화상은, 화상 왜곡 보정이 실시된 시물레이션 화상의 예이다.
- [0064] 도 10에 도시하는 바와 같이, 시물레이션 화상에 화상 보정 처리를 실시한 후, X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 X선 화상과의 매칭 처리를 행함으로써, 검사 대상이 되는 TSV의 형상을 고정밀도로 추정하는 것이 가능해진다.
- [0065] 또한, X선 촬상 장치(120)에 의한 X선 화상의 왜곡량을 얻기 위한 CBP는, X선 화상의 왜곡량을 파악할 수 있으면 되며, 도 9에 나타내는 예에 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 실시 형태에서는, 화상 생성부(103)에서 생성되는 시물레이션 화상에 대하여 화상 왜곡 보정을 행하고 있지만, X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 X선 화상에 대하여 화상 왜곡 보정을 행해도 된다.
- [0066] <검사 대상의 형상 추정>
- [0067] 이어서, X선 촬상 장치(120)에 의해 촬상되는 X선 화상과, 화상 생성부(103)에 의해 생성되는 시물레이션 화상에 기초하여, 실리콘 웨이퍼에 형성되어 있는 TSV의 형상을 추정하는 방법에 대하여 설명한다.
- [0068] 도 11은, 본 실시 형태에서의 검사 대상의 형상 추정 처리의 흐름도를 예시하는 도면이다.
- [0069] 도 11에 도시하는 바와 같이, 먼저 스텝 S21에서, X선 촬상 장치(120)가 실리콘 웨이퍼에 형성되어 있는 TSV의 X선 화상을 촬상한다. 이어서, 스텝 S22에서, 화상 처리 장치(101)의 화상 처리부(104)가, 촬상된 X선 화상에 대하여, 예를 들어 콘트라스트 보정, 화상 왜곡 보정 등의 화상 보정을 실시한다.
- [0070] 계속해서 화상 처리부(104)가, 스텝 S23에서, X선 화상에 초해상 처리를 실시함으로써 초해상 화상을 생성하고, 스텝 S24에서는, 초해상 화상의 축소 화상을 생성한다.
- [0071] 도 12에, X선 촬상 장치(120)에 의한 X선 화상으로부터 생성되는 초해상 화상을 예시하고, 도 13에, 초해상 화상의 축소 화상을 예시한다.
- [0072] 초해상 화상은, 예를 들어 3770×2830픽셀의 화상을 X선 화상으로부터 제작하고, 축소 화상으로서, 초해상 화상의 1/10인 377×283픽셀의 화상을 제작한다. 또한, 상기 화상 생성부(103)에서는, 초해상 화상 및 축소 화상에 대응하는 해상도의 시물레이션 화상을 생성하는 것으로 한다.
- [0073] 이어서, 스텝 S25에서, 화상 처리 장치(101)의 화상 매칭부(106)가, 생성된 축소 화상과, 화상 데이터베이스(105)에 등록되어 있는 시물레이션 화상의 매칭을 행함으로써, TSV의 형상 파라미터의 추정을 행한다.
- [0074] 도 14에, 본 실시 형태에서의 매칭 처리의 흐름도의 예를 나타낸다.
- [0075] 화상 매칭부(106)에서의 매칭 처리에서는, 먼저 스텝 S31에서, TSV의 형상 파라미터의 추정을 행하기 위한 초기 형상 파라미터를 입력한다. 축소 화상을 사용하여 매칭 처리를 행하는 경우의 초기 형상 파라미터로서는, 예를 들어 TSV의 설계값 등을 사용할 수 있다.
- [0076] 다음으로 스텝 S32에서, 화상 데이터베이스(105)로부터 입력된 형상 파라미터의 시물레이션 화상을 취득한다. 계속해서, 스텝 S33에서, X선 화상의 축소 화상과 시물레이션 화상의 사이의 유사성을 나타내는 평가값으로서의 매칭 스코어의 산출을 행한다. 매칭 스코어의 산출에는, 본 실시 형태에서는 정규화 상관을 사용했지만, 예를

들어 기하학 상관, 방향 부호 조화(OCM: Orientation Code Matching) 등을 사용해도 된다.

- [0077] 이어서, 스텝 S34에서, 산출된 매칭 스코어와 기준값(예를 들어 0.95)을 비교한다. 매칭 스코어가 기준값 이하인 경우에는, 스텝 S35에서 형상 파라미터의 최적화를 행하고, 다시 스텝 S32에서 최적화된 형상 파라미터의 시뮬레이션 화상을 화상 데이터베이스(105)로부터 취득한 후, 스텝 S33에서 매칭 스코어를 산출한다.
- [0078] 도 15에, 매칭 스코어의 산출 결과의 예를 나타낸다. 도 15에 도시하는 바와 같이, 입력한 형상 파라미터의 시뮬레이션 화상을 사용하여 매칭 스코어의 산출을 행하고, 매칭 스코어가 기준값 이하인 경우에는, 형상 파라미터가 서로 다른 시뮬레이션 화상을 사용하여 다시 매칭 스코어의 산출을 행한다.
- [0079] 도 14에 도시하는 매칭 처리의 흐름도에 있어서, 매칭 스코어의 값이 기준값을 초과할 때까지, 스텝 S32 내지 스텝 S35의 처리를 반복해서 행하여, 형상 파라미터의 최적화를 행한다. 스텝 S35에서의 형상 파라미터의 최적화에는, 예를 들어 유전적 알고리즘, 구배법 등의 최적화 알고리즘을 사용할 수 있다.
- [0080] 스텝 S34에서 매칭 스코어가 기준값을 초과한 경우에는, 스텝 S36에서, 그 형상 파라미터를 취득하고, 처리를 종료한다.
- [0081] 도 11에 도시하는 형상 추정 처리의 흐름도로 돌아가서, 계속해서, 스텝 S26에서, 축소 화상의 매칭 스코어 산출 결과에 있어서, 가장 매칭 스코어가 높은 TSV의 좌표 데이터를 추출하고, 초해상 화상으로부터 추출한 좌표 데이터에 대응하는 위치의 화상을 잘라낸다.
- [0082] 도 16은, X선 화상의 축소 화상과 시뮬레이션 화상의 사이의 매칭 스코어 산출 결과를 예시하는 도면이다. 도 16에 나타내는 바와 같은 축소 화상의 매칭 스코어 산출 결과로부터, 가장 매칭 스코어가 높은 TSV의 좌표 데이터를 추출한다. 이어서, 도 17에 나타낸 바와 같이, 초해상 화상으로부터, 추출한 좌표 데이터에 대응하는 위치의 화상 데이터를 잘라낸다.
- [0083] 도 11에 도시하는 형상 추정 처리의 흐름도로 돌아가서, 스텝 S26에서 초해상 화상의 잘라내기를 행한 후, 스텝 S27에서, 초해상 화상으로부터 잘라낸 화상을 사용하여 매칭 처리를 행한다.
- [0084] 스텝 S27에서의 초해상 화상으로부터 잘라낸 화상을 사용하는 매칭 처리에서는, 초기 형상 파라미터로서, 축소 화상을 사용하여 추정된 형상 파라미터를 입력한다. 축소 화상을 사용하여 추정된 형상 파라미터를 초기 조건으로서 입력함으로써, 보다 고속으로 형상 파라미터의 추정을 행할 수 있다.
- [0085] 마지막으로, 스텝 S28에서, 초해상 화상을 사용하여 매칭 처리를 행하여 취득된 형상 파라미터를 출력하여 처리를 종료한다.
- [0086] 이와 같이, 본 실시 형태에서는, X선 화상의 초해상 화상 및 축소 화상을 생성하고, 먼저 축소 화상에 기초하여 형상 파라미터의 추정을 행한 후, 축소 화상으로부터 추정된 형상 파라미터를 사용하여 초해상 화상에 기초하여 형상 파라미터의 추정을 행하고 있다.
- [0087] 축소 화상은, 초해상 화상에 비해 화상 데이터가 작아, 매칭 처리를 고속으로 행하는 것이 가능하며, 초해상 화상만을 사용하여 형상 파라미터의 추정을 행하는 경우에 비해 단시간에 형상 파라미터를 추정하는 것이 가능하게 된다.
- [0088] 또한, 축소 화상의 매칭 스코어 산출 결과에 기초하여, 초해상 화상으로부터 부분적으로 잘라낸 화상을 사용하여 형상 파라미터를 추정함으로써, 초해상 화상 전체에 대하여 처리를 행하는 경우에 비해 보다 고속으로 형상 파라미터의 추정이 가능하게 된다.
- [0089] 또한, 본 실시 형태에 따르면, X선 촬상 장치(120)에 의해 취득되는 X선 화상의 분해능 $1.0\mu\text{m}$ 에 대하여, 약 10분의 1의 $0.1\mu\text{m}$ 의 분해능으로 형상을 추정하는 것이 가능하다. 이와 같이, X선 촬상 장치(120)의 분해능 이상으로 검사 대상의 형상을 추정하는 것이 가능하게 된다.
- [0090] <필터 처리를 사용한 형상 파라미터의 추정>
- [0091] 이어서, X선 화상 및 시뮬레이션 화상에 필터 처리를 실시하고, 필터 처리가 실시된 X선 화상 및 시뮬레이션 화상에 기초하여 검사 대상의 형상 파라미터를 추정하는 방법을 설명한다.
- [0092] X선 화상 및 시뮬레이션 화상에, 예를 들어 에지 강조 필터의 일례로서 소벨(sobel) 필터 처리를 실시함으로써, 화상의 에지를 강조할 수 있다.
- [0093] 도 18은, 본 실시 형태에서의 X선 화상에 sobel 필터 처리 예를 도시하는 도면이다. 도 18의 왼쪽에 나타내는

화상은, X선 화상에서의 TSV의 깊이 방향에 대하여 sobel 필터 처리를 행한 예이며, 도 18의 오른쪽에 나타내는 화상은, sobel 필터 처리 후의 X선 화상이다.

[0094] 도 18에 나타내는 필터 처리 후의 X선 화상과 같이, TSV의 깊이 방향으로 sobel 필터 처리를 실시함으로써, TSV의 개구부와 저부의 형상이 명확하게 화상 중에 나타나 있음을 알 수 있다.

[0095] 또한, 도 19에, 시뮬레이션 화상에 sobel 필터 처리를 실시한 예를 나타낸다. 도 19는, 도 18과 마찬가지로 TSV의 깊이 방향에 대하여 sobel 필터 처리를 실시한 예이며, 도 19의 좌측에 필터 처리 전, 도 19의 우측에는 필터 처리 후의 화상을 나타내고 있다.

[0096] 도 19에 나타낸 바와 같이, 도 18과 마찬가지로 TSV의 개구부 및 저부의 형상이 명확하게 나타나 있음을 알 수 있다.

[0097] 이와 같이, X선 화상 및 시뮬레이션 화상에 sobel 필터 처리를 실시하고, sobel 필터 처리가 실시된 화상을 사용하여 매칭 처리를 행하여, 예를 들어, 도 4a에 나타내는 형상 파라미터 중, 개구부 반경(r1) 및 저부 반경(r3)의 추정을 행한다.

[0098] sobel 필터 처리에 의해, TSV의 개구부 및 저부가 강조된 X선 화상 및 시뮬레이션 화상을 사용함으로써, 형상 파라미터 중 개구부 반경(r1) 및 저부 반경(r3)을 고정밀도로 추정할 수 있다.

[0099] 이와 같이, 필터 처리 후의 화상을 사용하여 개구부 반경(r1) 및 저부 반경(r3)을 미리 구한 후, 필터 처리 전의 화상을 사용한 매칭 처리에 의해, 다른 형상 파라미터의 추정을 행한다. 다른 형상 파라미터의 추정은, 매칭 처리에 의해 모든 형상 파라미터를 한번에 추정하는 경우에 비해, 보다 고속으로 행하는 것이 가능하다. 따라서, 에지 강조된 화상을 사용함으로써 고정밀도의 형상 파라미터의 추정이 가능해짐과 함께, 형상 파라미터를 추정하는 전체의 처리 시간을 단축할 수 있다.

[0100] 도 20은, 실시 형태에서의 X선 화상으로부터 형상 파라미터를 추출하는 예를 도시하는 도면이다. 도 20은, TSV의 폭 방향으로 sobel 필터 처리를 실시한 X선 화상과, 필터 처리를 실시한 X선 화상의 A-A'에서의 프로파일을 예시하고 있다.

[0101] 도 20에 나타낸 바와 같이, X선 화상에 대하여 TSV의 폭 방향으로 sobel 필터 처리를 실시함으로써, 예를 들어 도 4a에 나타내는 형상 파라미터 중, TSV의 홀 중간부 최대 반경(r2)이 강조된 화상을 얻을 수 있다.

[0102] 따라서, 시뮬레이션 화상에 대하여, 도 20에 나타내는 X선 화상과 마찬가지로 TSV의 폭 방향으로 sobel 필터 처리를 실시하여 매칭 처리를 행함으로써, 예를 들어 TSV의 홀 중간부 최대 반경(r2)의 추정을 고정밀도로 행하는 것이 가능해진다.

[0103] 또한, 도 20에 나타낸 바와 같이, X선 화상으로부터 TSV의 홀 중간부 최대 반경(r2)을 계측함으로써 형상 파라미터를 구할 수도 있다.

[0104] 이와 같이, 필터 처리를 실시함으로써, TSV의 복수의 형상 파라미터 중, 홀 중간부 최대 반경(r2)을 미리 고정밀도로 구하는 것이 가능해지고, 매칭 처리에 의해 추정하는 형상 파라미터의 수를 저감시켜서, TSV의 형상 추정을 단시간에 행하는 것이 가능해진다.

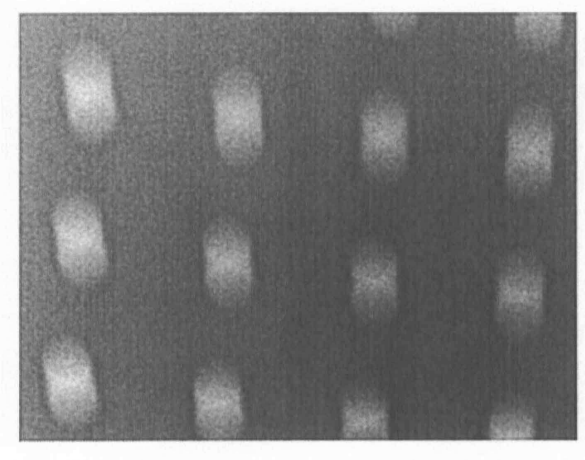
[0105] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 실시 형태에 따르면, 실리콘 웨이퍼를 절삭 등을 하지 않고 비파괴로, 검사 대상이 되는 TSV의 형상 계측을 고분해능이면서 또한 고속으로 행하는 것이 가능하게 된다.

[0106] 본 실시 형태에 따른 X선 검사 방법 및 X선 검사 장치(100)는, 검사 대상의 형상 계측을 고속으로 행하고, 절삭 등을 하지 않고 검사하는 것이 가능하기 때문에, 예를 들어 반도체 제조 프로세스에서의 인라인 검사에 사용할 수 있다.

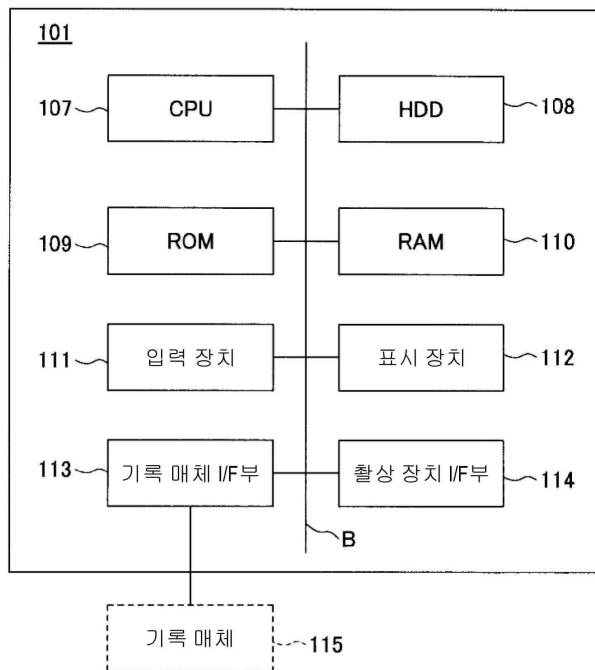
[0107] 또한, 반도체 제조 프로세스 등에서 인라인 검사를 행하는 경우에는, 복수의 X선 검사 장치(100)의 화상 처리 장치(101)에 네트워크 등을 통해 접속하는 서버 장치를 설치하고, 서버 장치에서 매칭 처리 등을 행하도록 구성하는 것도 가능하다. 이 경우에는, 예를 들어 서버 장치에 화상 데이터베이스(105), 화상 매칭부(106) 등을 설치하고, 서버 장치에서 검사를 일괄적으로 행하여, 검사 결과 등을 집약해서 관리하는 것이 가능해진다.

[0108] 이상, 본 발명의 실시 형태에 대하여 설명했지만, 상기 실시 형태에 예로 든 구성 등에, 그 밖의 요소와의 조합 등, 여기에서 나타낸 구성에 본 발명이 한정되는 것은 아니다. 이러한 점에 대해서는, 본 발명의 취지를 이탈하지 않는 범위에서 변경하는 것이 가능하며, 그 응용 형태에 따라서 적절하게 정할 수 있다.

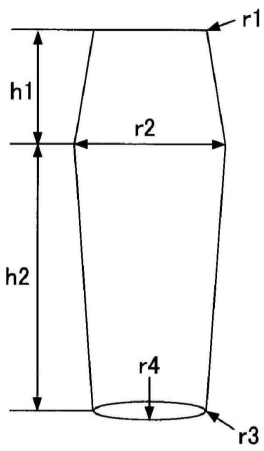
도면2



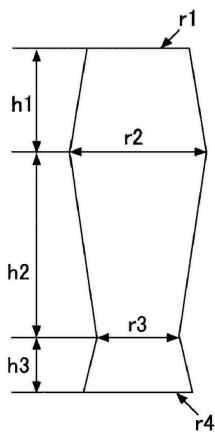
도면3



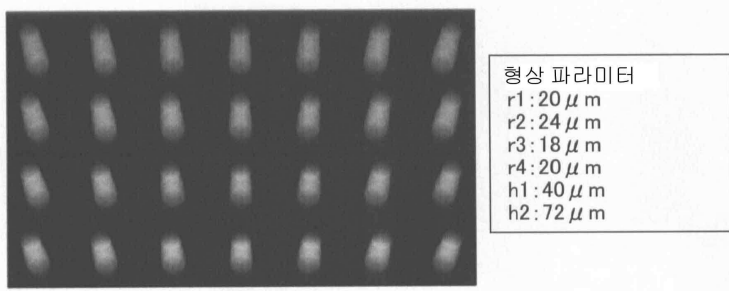
도면4a



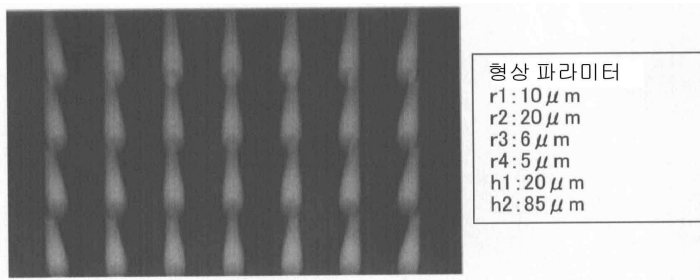
도면4b



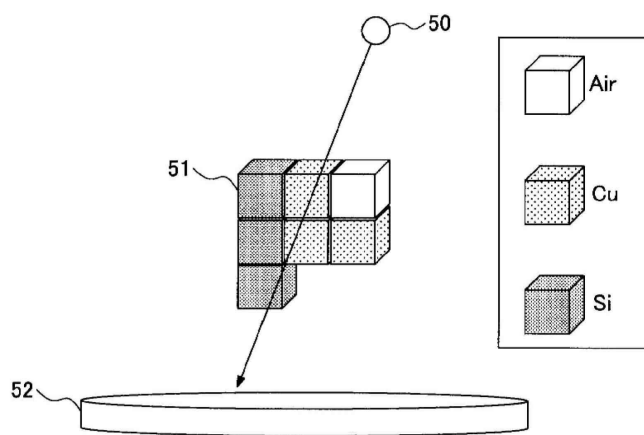
도면5a



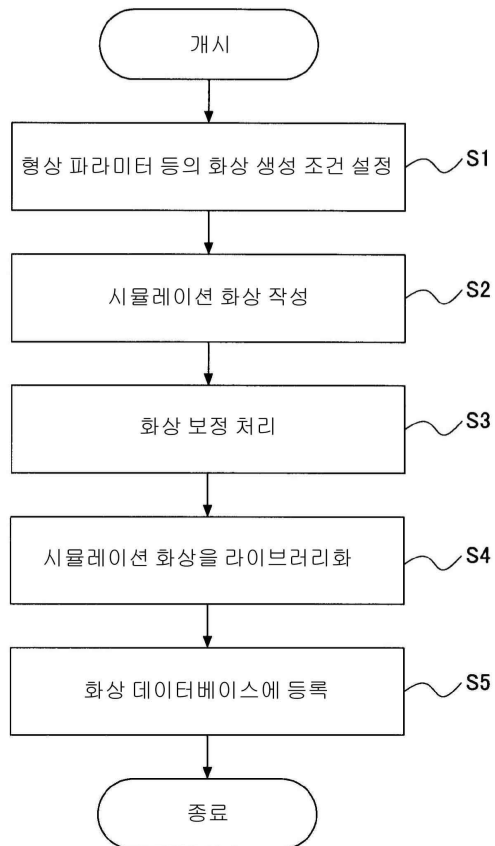
도면5b



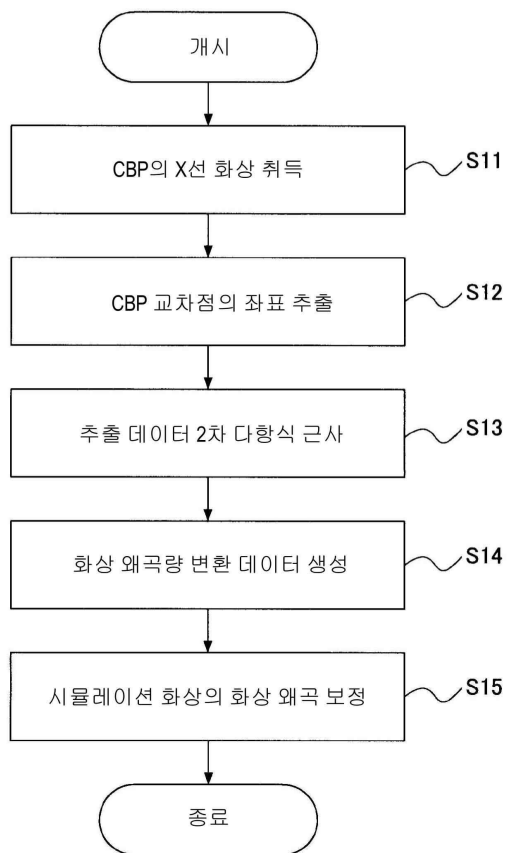
도면6



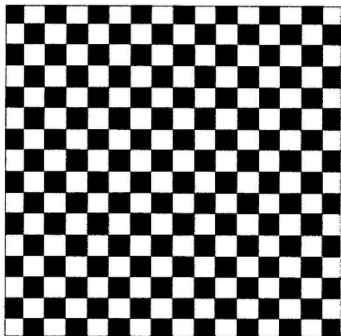
도면7



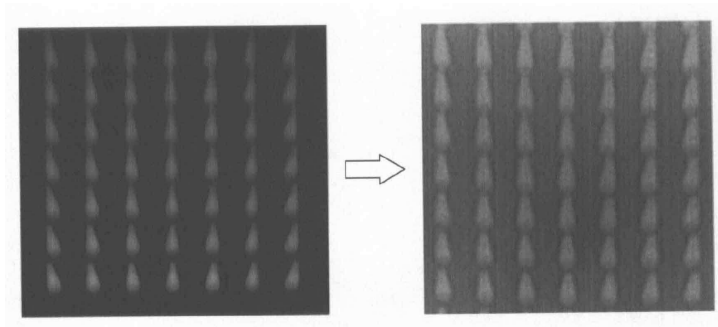
도면8



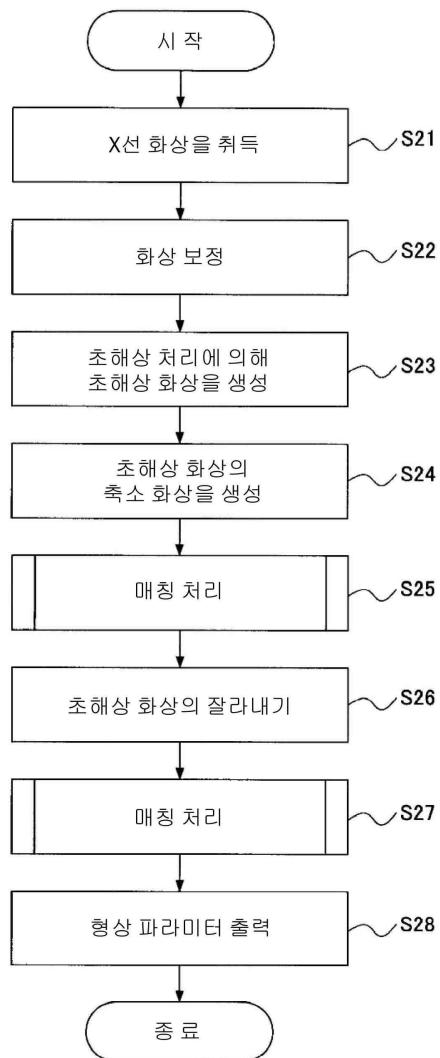
도면9



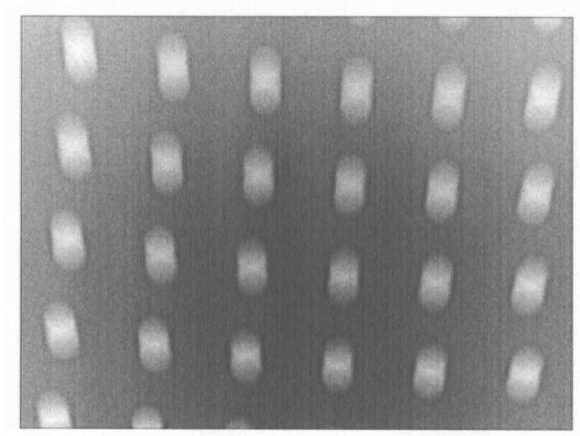
도면10



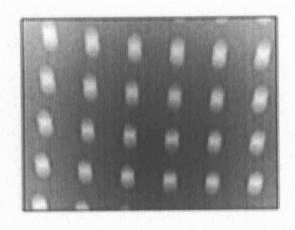
도면11



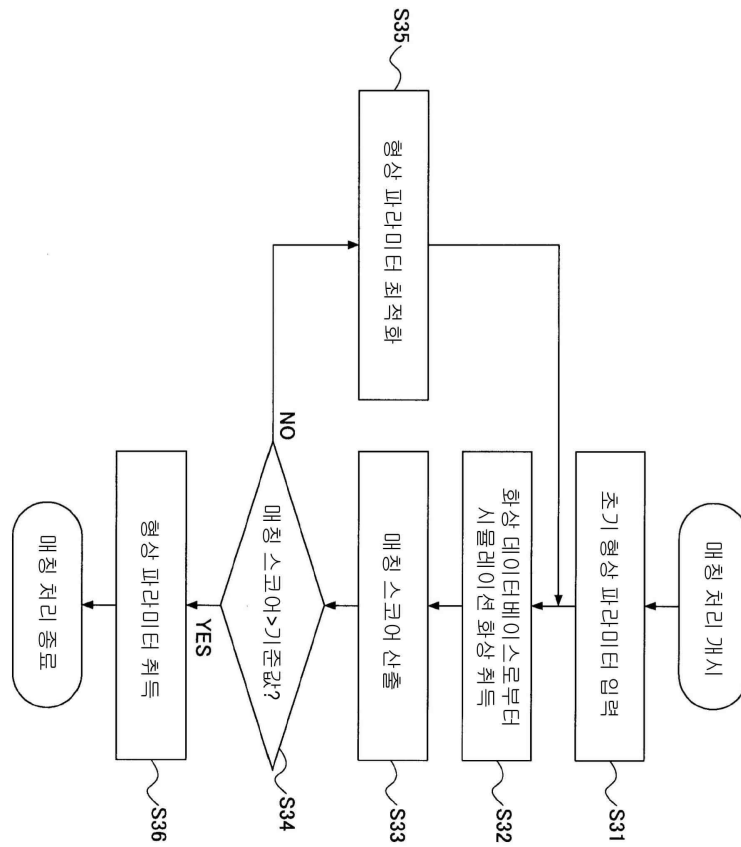
도면12



도면13



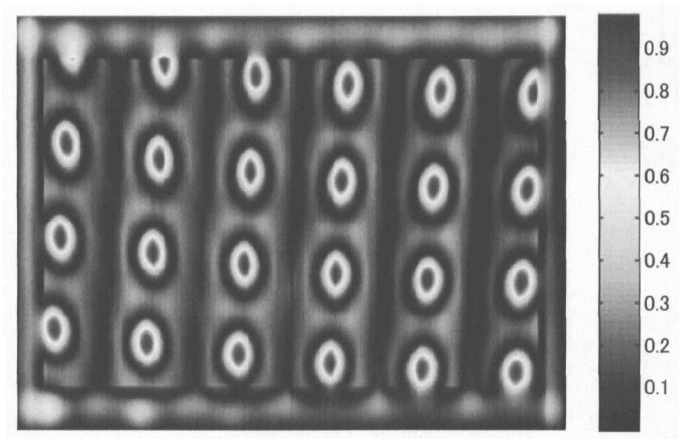
도면14



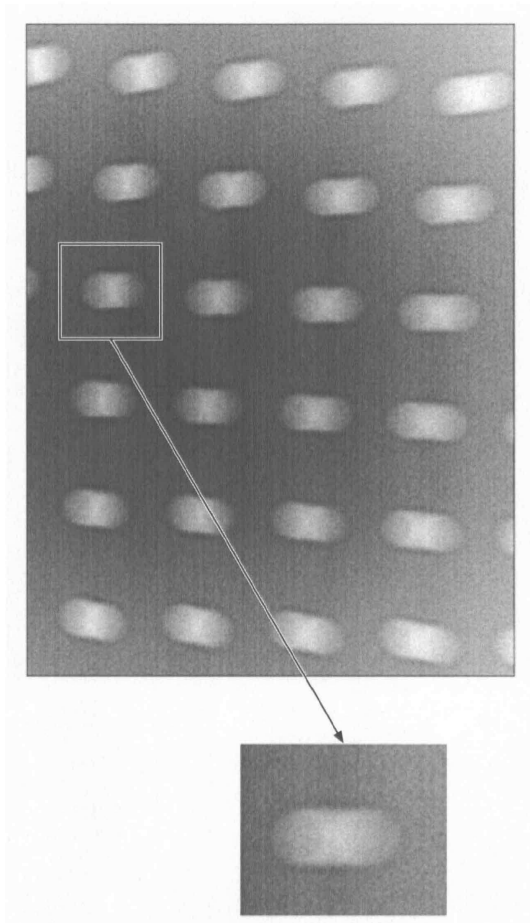
도면15

NO.	형상 파라미터	매칭 스코어
1	temp20.2 x 85 tilt15	0.9512
2	temp20 x 85 tilt15	0.952
3	temp19.8 x 85 tilt15	0.9507
1	temp20 x 85.2 tilt15	0.9518
2	temp20 x 85 tilt15	0.952
3	temp20 x 84.8 tilt15	0.9507

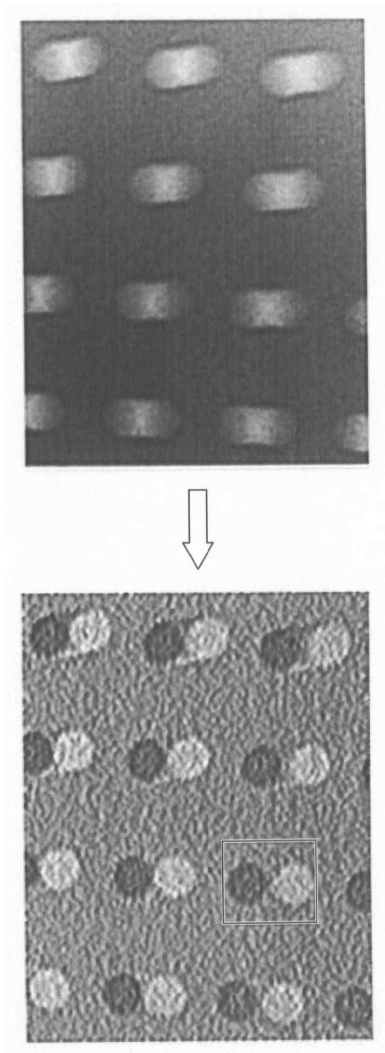
도면16



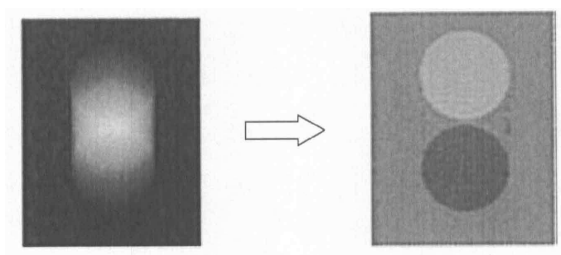
도면17



도면18



도면19



도면20

