



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년06월28일
 (11) 등록번호 10-0966390
 (24) 등록일자 2010년06월18일

- (51) Int. Cl.
H01L 21/66 (2006.01) **H01L 21/3065** (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2009-0065271(분할)
 (22) 출원일자 2009년07월17일
 심사청구일자 2009년07월17일
 (65) 공개번호 10-2009-0084801
 (43) 공개일자 2009년08월05일
 (62) 원출원 특허 10-2001-0003816
 원출원일자 2001년01월26일
 심사청구일자 2006년01월26일
 (30) 우선권주장 JP-P-2000-019524 2000년01월28일 일본(JP)
 (56) 선행기술조사문헌 JP02071517 A*
 JP09129619 A*
 JP61152017 A*
 US05465154 A1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자 **도쿄엘렉트론가부시키키가이샤**
 일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1코
- (72) 발명자 **야마자와 요헤이**
 일본 야마나시켄 니라사키시 호사카쵸 미즈자와 650 도쿄엘렉트론가부시키키가이샤 테크놀로지 디벨롭먼트 센터 내
오오카와 요시히토
 일본 야마나시켄 니라사키시 후지이마치 기타계쵸 2381-1 도쿄엘렉트론산리가부시키키가이샤 내
- (74) 대리인 **김창세**

전체 청구항 수 : 총 16 항

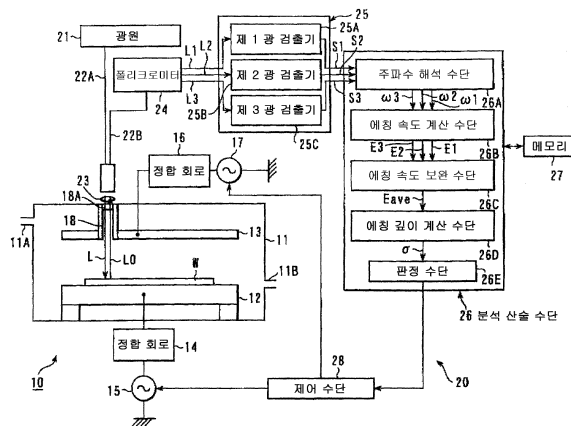
심사관 : 맹성재

(54) 에칭 모니터 장치, 에칭 장치 및 에칭 깊이 검출 방법

(57) 요약

피처리체의 에칭 깊이를 검출하는 방법은, 에칭 섹션에서 에칭되는 피처리체의 에칭층을 파장이 서로 다른 다수의 성분을 갖는 광으로 조사하는 단계와, 파장이 서로 다른 성분으로 이루어지며, 에칭층의 상부면 및 에칭 섹션의 표면으로부터 반사된 광 성분에 의해 주기적으로 변하는 강도를 갖는 다수의 간섭 광 성분을 검출하는 단계와, 이들 간섭 광 성분에 주파수 해석을 적용하여 강도가 진폭을 형성하는 이들 간섭 파형들 각각의 주파수를 획득하는 단계와, 간섭 파형의 주파수를 이용하여 각각의 간섭 파형에 대응하는 에칭 속도를 계산하는 단계와, 상기 에칭 속도로부터 에칭 깊이를 획득하는 단계를 포함한다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

피처리체에 광을 조사하고, 그 반사광을 이용하여 에칭 깊이를 감시하는 에칭 모니터 장치로서,
 상기 피처리체에 광을 조사하는 광원과,
 피에칭층의 상면 및 피에칭부의 표면으로부터의 반사광에 의해 주기 변동하는 간섭광을 검출하는 광검출기와,
 제어 장치
 를 구비하되,
 상기 제어 장치는,
 복수의 상기 간섭광의 주파수 해석을 행함으로써 각각의 간섭 파형의 주파수를 구하는 주파수 해석 수단과,
 상기 복수의 간섭 파형의 주파수를 이용하여 에칭 속도를 산출하되, 상기 각 간섭 파형의 주파수에 근거해서 에칭 속도를 산출하여 각각의 산출 에칭 속도를 구한 후, 간섭 파형의 왜곡에 근거하는 산출 에칭 속도의 편차를, 왜곡이 없는 다른 간섭 파형에 근거하는 산출 에칭 속도로 보완하여 상기 에칭 속도를 구하는 에칭 속도 산출 수단과,
 상기 에칭 속도로부터 에칭 깊이를 구하는 에칭 깊이 산출 수단을 구비하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서,
 상기 에칭 속도 산출 수단은, 상기 각 간섭 파형의 왜곡의 크기에 따라 각각의 산출 에칭 속도를 가중 평균하여, 상기 에칭 속도를 구하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,
 상기 주파수 해석 수단은, 상기 각 간섭 파형 각각의 위상을 또한 구하고, 이들의 간섭 파형의 위상에 따라 각각의 산출 에칭 속도를 가중 평균하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,
 상기 주파수 해석 수단은, 상기 각 간섭 파형 각각의 파장이 동시에 $(n+1/2)\pi$ 로 되지 않는 파장을 선택하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 7

피처리체에 광을 조사하고, 그 반사광을 이용하여 에칭 깊이를 감시하는 에칭 모니터 장치로서,
 상기 피처리체에 광을 조사하는 광원과,

피에칭층의 상면 및 피에칭부의 표면으로부터의 반사광에 의해 주기 변동하는 간섭광을 검출하는 광검출기와,
 제어 장치
 를 구비하되,
 상기 제어 장치는,
 상기 간섭광의 파형을 나타내는 근사식을 결정하는 근사식 결정 수단과,
 상기 간섭광의 강도로부터 상기 근사식의 정수를 결정하는 근사식 정수 결정수단과,
 상기 정수가 결정된 근사식과 상기 간섭광의 강도에 근거하여 에칭 깊이를 산출하는 에칭 깊이 산출 수단
 을 구비하는 것
 을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,
 상기 근사식 정수 결정 수단은,
 상기 근사식으로부터 상기 근사식의 포락선을 결정하는 수단과,
 상기 간섭광의 강도로부터 상기 포락선을 구하는 것에 의해 상기 근사식의 정수를 결정하는 수단
 을 구비한 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,
 3개의 연속하는 상기 간섭광의 강도의 극값으로부터 상기 근사식의 정수를 구하는 것을 특징으로 하는 에칭 모
 니터 장치.

청구항 10

제 7 항에 있어서,
 상기 에칭 깊이 산출 수단은, 상기 정수가 결정된 근사식과 상기 간섭광의 강도에 근거해 상기 간섭 파형의 위
 상을 구하고, 이 위상에 근거해 에칭 깊이를 산출하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 11

제 7 항에 있어서,
 상기 광으로서 복수의 파장의 광을 이용하는 경우에는, 상기 에칭 깊이 산출 수단은, 상기 각 파형의 간섭광에
 근거해 에칭 깊이를 산출하고, 이들 에칭 깊이를 보완하는 것에 의해 평균 에칭 깊이를 산출하는 것을 특징으로
 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 12

피처리체에 광을 조사하고, 그 반사광을 이용하여 에칭 깊이를 감시하는 에칭 모니터 장치로서,
 상기 피처리체에 광을 조사하는 광원과,
 피에칭층의 상면 및 피에칭부의 표면으로부터의 반사광에 의해 주기 변동하는 간섭광을 검출하는 광검출기와,

제어 장치

를 구비하되,

상기 제어 장치는,

간섭 파형의 시각 t 로부터 $(t+\Delta t)$ 마다의 검출 데이터에 대해 주파수 해석을 행하는 것에 의해 주파수 $\omega(t)$ 를 구하는 주파수 해석 수단과,

상기 주파수 $\omega(t)$ 를 이용하여 에칭 속도 $E(t)$ 를 산출하는 에칭 속도 산출 수단과,

상기 에칭 속도 $E(t)$ 를 시간적분하여 에칭 깊이를 구하는 깊이 산출 수단

을 구비하되,

상기 주파수 해석 수단은, 상기 간섭 파형의 시각 t 로부터 $(t+\Delta t)$ 마다의 검출 데이터로서 일정 시간폭 Δt 의 데이터를 이용하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 13

삭제

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 주파수 해석 수단은, 주파수 해석으로서 최대 엔트로피법을 이용하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 주파수 해석 수단은, 주파수 해석으로서 고속 푸리에 변환을 이용하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 16

제 12 항에 있어서,

상기 간섭광 및 상기 간섭 파형은 모두 복수인 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 에칭 속도 산출 수단은, 상기 각 간섭 파형의 주파수에 근거해서 에칭 속도를 산출하여 각각의 산출 에칭 속도를 구한 후, 상기 각 간섭 파형의 왜곡의 크기에 따라 각각의 상기 산출 에칭 속도를 가중평균해서, 상기 간섭 파형의 왜곡에 근거하는 산출 에칭 속도의 편차를, 왜곡이 없는 다른 간섭 파형에 근거하는 산출 에칭 속도로 보완하여 상기 에칭 속도를 구하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 주파수 해석 수단은, 상기 각 간섭 파형 각각의 위상을 또한 구하고, 이들 간섭 파형의 위상에 따라 각각의 산출 에칭 속도를 가중평균하는 것을 특징으로 하는 에칭 모니터 장치.

청구항 19

청구항 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18 중 어느 한 항에 기재된 에칭 모니터 장치를 구비한 것을 특징으로 하는 에칭 장치.

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- [0016] 본 출원은 2000년 1월 28일에 출원된 일본 특허 출원 제 2000-019524 호에 기초하여, 그 우선권의 이점을 주장하며, 그 전체 내용은 본 출원의 명세서에서 참조로 인용된다.
- [0017] 본 발명은 플라즈마에 의한 피처리체의 에칭 동안 에칭 깊이를 실시간으로 검출할 수 있는, 에칭 깊이 검출 방법 및 장치에 관한 것이다.
- [0018] 플라즈마를 이용한 에칭 방법은 반도체 디바이스의 제조 프로세스 및 LCD 기관의 제조 프로세스와 같은 여러 분야에서 널리 이용되고 있다. 플라즈마 에칭 장치는 프로세스 챔버 내에 평행하게 배열된 하부 전극 및 상부 전극을 포함한다. 플라즈마 에칭 프로세스를 수행하기 위해, 반도체 웨이퍼와 같은 피처리체가 하부 전극 상에 배치된다. 이러한 상황에서, 상부 전극과 하부 전극 간의 방전에 의해 에칭 가스의 플라즈마가 생성되어, 사전 결정된 패턴으로 피처리체를 선택적으로 에칭한다. 플라즈마 에칭 프로세스 동안, 필요에 따라 에칭 상태가 모니터링된다. 그러한 모니터링 방법으로서 방사 분광 기법(emission spectroscopy technique)이 제안되어 있다. 그러나, 이러한 방법에서는 에칭에 의해 생성된 가스의 방사 스펙트럼의 지정된 파장이 변화되는 시간이 에칭의 종료 지점으로서 검출되기 때문에, 시간에 따른 에칭 깊이 변화를 알 수가 없었다.
- [0019] 에칭 깊이를 검출하는 기법에 대해서는, 예를 들면 일본 특허 제 2545948 호에 제안되어 있다. 이러한 종래 기술에서는, 관측을 위한 윈도우가 상부 전극에 형성되고, 반도체 웨이퍼의 표면은 프로세서 챔버의 외부로부터 관측 윈도우를 통해 레이저 빔과 같은 단색광에 의해 조사된다. 반도체 웨이퍼의 표면 상에서 간섭된 반사광은 검출기에 의해 검출되며, 검출기에서 검출된 광으로부터 변환된 전기 신호는 파형 분석 수단에서 최대 엔트로피 방법을 이용하여 간섭 파형의 주파수 해석을 거치게 된다. 그 후, 간섭 파형의 주파수 분포에 기초하여 에칭 깊이가 계산되며, 그로 인해 에칭 깊이가 실시간으로 검출된다. 그러나, 레이저 빔의 간섭 파형을 이용하는 방법에서는, 사전결정된 위상에서의 주기적인 왜곡이 불가피하며, 왜곡된 부분에서 에칭 속도(etching rate)가 주기적으로 크게 벗어나, 결과적으로는 에칭 깊이를 정확하게 측정 및 모니터링할 수 없게 된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- [0020] 본 발명의 제 1 목적은 사전결정된 위상에 간섭 파형의 왜곡이 있는 경우에도 왜곡의 영향을 억제하여 에칭 깊이를 정확하게 검출할 수 있는 에칭 깊이 검출 방법을 제공하는 것이다.
- [0021] 본 발명의 다른 목적은 에칭 깊이를 단시간 내에 계산할 수 있는, 시간 응답 능력이 우수한 에칭 깊이 검출 방법을 제공하는 것이다.
- [0022] 본 발명의 제 1 특징에 따르면,
- [0023] 에칭 섹션에서 에칭되는 피처리체의 에칭층을 파장이 서로 다른 적어도 2 개의 성분을 갖는 광으로 조사하는 단계와,
- [0024] 파장이 서로 다른 성분으로 이루어지며, 에칭층의 상부면 및 에칭 섹션의 표면으로부터 반사된 광 성분에 의해 주기적으로 변하는 강도를 갖는 다수의 간섭 광 성분을 검출하는 단계와,
- [0025] 이들 간섭 광 성분에 주파수 해석을 적용하여 강도가 진폭을 형성하는 이들 간섭 파형들 각각의 주파수를 획득하는 단계와,
- [0026] 간섭 파형의 주파수를 이용하여 각각의 간섭 파형에 대응하는 에칭 속도를 계산하는 단계와,
- [0027] 상기 에칭 속도로부터 에칭 깊이를 획득하는 단계를 포함하는 피처리체의 에칭 깊이 검출 방법이 제공된다.
- [0028] 본 발명의 제 2 특징에 따르면,
- [0029] 에칭 섹션에서 에칭되는 피처리체의 에칭층을 광 빔으로 조사하는 단계와,
- [0030] 에칭층의 상부면 및 에칭 섹션의 표면으로부터 반사된 광 빔에 의해 주기적으로 변하는 강도를 갖고, 그 강도가 진폭을 형성하는 간섭 파형을 갖는 간섭 광 빔을 검출하는 단계와,
- [0031] 간섭 광 빔의 근사식(approximate formula)을 결정하는 단계와,
- [0032] 간섭 광 빔의 강도로부터 근사식의 상수들을 결정하는 단계와,
- [0033] 상수들이 결정된 근사식 및 간섭 광 빔의 강도에 기초하여 에칭 깊이를 계산하는 단계를 포함하는 피처리체의 에칭 깊이 검출 방법이 제공된다.
- [0034] 본 발명의 제 3 특징에 따르면,
- [0035] 에칭 섹션에서 에칭되는 피처리체의 에칭층을 광 빔으로 조사하는 단계와,
- [0036] 에칭층의 상부면 및 에칭 섹션의 표면으로부터의 반사 광 빔에 의해 발생된 강도에 의해 제공된 진폭을 갖고서 주기적으로 변화되는 간섭 광 빔을 검출하는 단계와,
- [0037] 간섭 광 빔의 강도에 의해 제공된 진폭을 갖는 간섭 파형의 다수의 극값에 기초하여 후속하는 간섭 파형의 진폭을 예측하는 단계와,
- [0038] 소정 시간에서의 간섭 강도 및 진폭에 기초하여 위상을 계산하는 단계와,
- [0039] 계산된 위상에 기초하여 에칭 깊이를 계산하는 단계를 포함하는 피처리체의 에칭 깊이 검출 방법이 제공된다.
- [0040] 또한, 본 발명의 제 4 특징에 따르면,
- [0041] 에칭층의 에칭 섹션을 계속적으로 에칭하는 단계와,
- [0042] 에칭 섹션의 에칭 깊이를 실시간으로 측정하여 대응하는 정보를 출력하는 단계와,
- [0043] 출력 정보와 사전 설정된 에칭 깊이에 대응하는 정보를 실시간으로 비교하는 단계와,
- [0044] 사전 설정된 에칭 깊이에 대응하는 정보와 출력 정보가 상기 비교 단계에서 동일하게 될 때 에칭 단계를 중지하는 단계를 포함하는 에칭 깊이 검출 방법이 제공된다.
- [0045] 본 발명의 추가적인 목적 및 이점들은 이하의 기술 내용에 개시될 것이며, 그들 내용의 일부는 그러한 기술 내용으로부터 명백하거나, 또는 본 발명의 실행에 의해 학습될 수 있다. 본 발명의 목적 및 이점들은 이하에 특정

된 수단들 및 조합에 의해 실현 및 획득될 수 있다.

발명의 구성 및 작용

- [0046] 본 명세서에 통합되어 그 일부를 구성하는 첨부 도면들은 본 발명의 바람직한 실시예들을 도시하는 것이며, 전술된 일반적 기술 내용 및 이하에 기술된 본 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 원리를 설명하게 될 것이다.
- [0047] 본 발명의 일 실시예에 따른 에칭 깊이 검출 방법이 이제부터 도 1 내지 8을 참조하여 설명된다.
- [0048] 먼저, 본 발명의 에칭 깊이 검출 방법을 실시하는 에칭 장치(10)의 예가 도 1을 참조해서 설명된다. 도면에 도시된 바와 같이, 에칭 장치(10)는 알루미늄과 같은 도전 재료로 이루어진 처리실(11)과, 처리될 피처리체의 일레인 반도체 웨이퍼 W가 배치되는 서셉터로서 작용하는 하부 전극(12)과, 이 하부 전극(12) 위의 사전결정된 거리에 배치되는 상부 전극(13)을 포함한다. 처리실(11) 주위벽의 상부에는 가스 공급원(도시되지 않음)에 접속되는 가스 공급 포트(11A)가 형성된다. 또한, 처리실(11) 주위 측벽의 하부에는 진공 배기 장치(도시되지 않음)에 접속되는 가스 배기 포트(11B)가 형성된다. 하부 전극(12)에는 정합 회로(14)를 통해 고주파 전원(15)이 전기적으로 접속된다. 또한, 상부 전극(13)에는 정합 회로(16)를 통해 다른 고주파 전원(17)이 접속된다. 고주파 전원(15)으로부터 하부 전극(12)에 공급되는 고주파 전원의 주파수보다 높은 주파수를 갖는 고주파가 고주파 전원(17)으로부터 상부 전극(13)에 공급된다.
- [0049] 에칭 처리를 수행하는 경우, 처리실(11)의 내측 공간은 처리실(11)내를 사전결정된 진공도로 설정하기 위해 진공 배기 장치에 의해 가스 배기 포트(11B)를 통해 진공화된다. 그리고 나서, 가스 공급 포트(11A)를 통해 처리실(11)내로 에칭 가스를 공급하는 동시에 하부 전극(12) 및 상부 전극(13)에 고주파 전원을 인가한다. 결과적으로, 두 전극들(12, 13) 사이에 에칭 가스의 플라즈마가 발생된다. 따라서, 예컨대, 도 2에 도시된 바와 같이, 에칭층 E의 에칭부 E', 즉, 웨이퍼 W의 상부가 반도체 웨이퍼 W의 상부면상에 형성된 레지스트층 R의 개구부 O를 통해 에칭되어, 사전결정된 깊이를 갖는 그루브(groove) 또는 홀(hole) T이 형성된다.
- [0050] 모니터링 목적으로 원통형 윈도우 지지 부재(18)가 처리실(11)의 상부벽을 통해 수직으로 연장하도록 제공된다. 석영 유리와 같은 투명 재료로 이루어진 모니터링 윈도우(18A)는 윈도우 지지 부재(18)의 상측 개구에 근접하도록 탑재된다. 윈도우 지지 부재(18)의 하측 개구 단부는 반도체 웨이퍼 W의 상부면과의 사이에 사전결정된 거리를 두고 면하도록 상부 전극(13)을 통해 연장된다. 처리실(11)내에서 반도체 웨이퍼 W의 에칭 상태를 모니터링하는 에칭 모니터링 장치(20)는 윈도우 지지 부재(18)에 접속된다. 도 1에 도시된 바와 같이, 에칭 모니터링 장치(20)는 광원(21)과, 이 광원(21)에 접속된 한 단부를 갖는 광 파이버(22A)와, 광 파이버(22A)의 다른 단부와 윈도우(18A) 사이에 배치된 포커싱 렌즈(23)와, 다른쪽 단부가 윈도우(18A)에 면하도록 위치된 광섬유(22B)의 한쪽 단부에 접속되는 입력측을 갖는 폴리크로미터(24)와, 이 폴리크로미터(24)의 출력측에 접속되는 광 검출기(25)와, 광 검출기(25)의 출력측에 접속되는 분석 산술 회로 또는 수단(26)과, 분석 산술 수단(26)에 접속된 메모리(27)를 포함한다. 분석 산술 수단(26)의 출력측에는 제어 장치(28)가 전기적으로 접속된다. 제어기(28)의 출력측은 고주파 전원(15, 17)에 접속된다. 이하에 설명되는 바와 같이, 분석 산술 수단(26)이 계산을 하여 목표 에칭 깊이가 성취되면, 제어 장치(28)는 고주파 전원(15, 17)의 동작을 중지시켜서 에칭 프로세스를 종료한다.
- [0051] 예컨대, 도 3에 도시된 파장 영역의 스펙트럼을 갖는 광이 에칭 프로세스 동안에, 예컨대, 크세논 램프로 형성된 광원(21)으로부터 방출되면, 방출된 광 L은 광섬유(22A), 렌즈(23) 및 윈도우 지지 부재(18)를 통과하여 처리실(11)내에서 반도체 웨이퍼 W의 에칭부 E'와 레지스트층 R상으로 입사한다. 결과적으로, 도 2에 도시된 바와 같이 광 L은 레지스트층 R과 에칭층 E간의 계면과 에칭부 E'의 상부면으로부터 반사된다. 반사된 광 빔 또는 성분 L₀는 서로 간섭하여 간섭 광을 발생한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 반사된 광 빔 또는 성분 L₀는 윈도우 지지 부재(18), 렌즈(23) 및 광섬유(22B)를 통과하여 폴리크로미터(24)상으로 입사하며, 따라서, 상이한 파장을 갖는 복수의 간섭 광 성분으로 분할된다. 분할 광 성분 중에서, 제각기 350nm, 450nm 및 550nm의 파장 λ을 갖는 간섭 광 성분 L₁, L₂, L₃이 광 검출기(25)에 공급된다. 광 검출기(25)에서는 제각기 제 1, 제 2 및 제 3 광 검출기(25A, 25B, 25C)에 의해 이들 간섭 광 성분의 강도가 검출된다. 이들 광 검출기(25A, 25B, 25C)에서 앞서 언급된 파장의 간섭 광 성분이 전기적 신호로 변환되어 변환된 전기적 신호의 강도에 대응하는 3가지의 아날로그 신호 S₁, S₂, S₃가 출력된다. 이들 아날로그 신호는 증폭기(도시되지 않음)에서 증폭된 후, A/D 변환기(도시되지 않음)에서 디지털 신호로 변환된다. 이러한 결과의 디지털 신호는 분석 산술 수단 또는 회로(26)

에 공급된다. 이후 설명되는 바와 같이, 에칭 깊이는 이들 디지털 신호를 기초로 분석 산술 수단(26)에서 획득된다.

[0052] 에칭부 E'가 에칭의 진행에 따라 점차적으로 깊어지므로, 각 간섭 광 성분의 강도는 에칭 깊이의 변화에 따라 에칭 시간에 의해 주기적으로 변화하여 간섭 파형을 형성한다. 이들 간섭 파형은 이론적으로 다음 수학적 식 1로 표현되는 사인파로서 제공되므로, 시간에 따라 변화된다.

수학적 식 1

[0053]
$$I = I_{dc} + I_{pp} \sin(\omega t)$$

[0054] 수학적 식 1에서 주파수 ω 와 에칭 깊이간의 관계는 이론적으로 다음 수학적 식 2로 표현될 수 있다.

수학적 식 2

[0055]
$$\omega = 2\pi d(n\delta/\lambda)/dt$$

[0056] 각각의 수학적 식 1 및 2에서, I_{dc} 는 간섭 파형의 DC 성분의 진폭을 나타내고, I_{pp} 는 간섭 파형의 AC 성분의 진폭을 나타내며, ω 는 간섭 파형의 각 주파수(이후 간단히 "주파수"라고 칭함)를 나타내고, n 은 에칭층 E의 굴절률을 나타내며, δ 는 에칭부 E'의 에칭 깊이를 나타내고, λ 는 측정에 사용된 광의 파장을 나타낸다.

[0057] 도 1에 도시된 바와 같이, 분석 산술 수단(26)은 광 검출기(25)의 출력측에 접속되어 최대 엔트로피 방법 또는 고속 푸리에 변환을 이용해서 간섭 광의 주파수를 분석하는 주파수 해석 수단 또는 회로(26A)와, 주파수 해석 수단(26A)에서 획득된 주파수 ω 를 기초로 각 간섭 파형의 에칭 속도를 계산하는 에칭 속도 계산 수단 또는 회로(26B)와, 실제 에칭 속도를 계산하도록 에칭 속도 계산 수단(26B)에서 획득된 에칭 속도를 상호간에 보완하는 에칭 속도 보완 수단 또는 회로(26C)와, 에칭 속도 보완 수단(26C)에서 획득된 에칭 속도를 기초로 에칭 깊이를 계산하는 에칭 깊이 계산 수단 또는 회로(26D)와, 에칭 깊이 계산 수단(26D)에서 획득된 에칭 깊이를 판정하는 판정 수단 또는 회로(26E)를 포함한다. 분석 산술 수단(26)에 접속된 메모리(27)에는, 예컨대, 최대 엔트로피 방법 및 고속 푸리에 변환에 관련되는 프로그램, 에칭 속도 및 에칭 깊이를 계산하는데 사용되는 프로그램 및 간섭 파형의 데이터가 저장된다.

[0058] 분석 산술 수단(26)의 주파수 해석 수단(26A)에서, 3가지 간섭 광 성분의 주파수가 최대 엔트로피 방법 또는 고속 푸리에 변환을 이용(본 실시예에서는 최대 엔트로피 방법이 이용됨)함으로써 분석되어, 예컨대, 각 간섭 파형에 대해 시간($t-\Delta t$)와 시간(t) 사이에서 주파수 $\omega(t)$ 와 위상 $p(t)$ 를 획득한다. 주파수는 각 시각 t 마다 획득된다.

[0059] 에칭 속도 $E(t)$ 과 주파수 $\omega(t)$ 간에는 아래의 수학적 식 3과 같은 관계가 있으므로, 시간($t-\Delta t$)와 시간(t) 사이에서 주파수 $\omega(t)$ 는 에칭 속도 계산 수단(26B)에서 간섭 파형의 각각에 대해 프로그램에 따라 획득된다. 주파수 $\omega(t)$ 와 에칭 속도간의 관계로부터, 해당 시간에 간섭 파형 각각을 만족시키는 에칭 속도 $E(t)$ 은 각 시각 t 마다 다음 수학적 식 3을 기초로 계산된다.

수학적 식 3

[0060]
$$E(t) = d\delta(t)/dt = \omega(t)\lambda/(2\pi n)$$

[0061] 실제로 관찰되는 간섭 파형은 다양한 요인에 의해 왜곡되었음이 당 분야에 알려져 있다. 그러나, 주파수 해석에 이용되는 시간 폭 Δt 는 어느 정도까지 길어서(즉, 1주기보다 김; $\Delta t > 2\pi/\omega$), 왜곡의 영향이 평균화되고, 결과적으로 획득되는 신호에 사실상 큰 영향은 주지 않는다. 한편, 시간의 변화에 따르도록 에칭 속도의 능력을 개선하기 위해, 즉, 시간 응답 능력을 개선하기 위해, Δt 를 가능한 한 축소시킬 필요가 있다. Δt 가 관찰되는 간섭 파형의 반주기보다 길면($\Delta t > \pi/\omega$), 최대 엔트로피 방법이나 고속 푸리에 변환 방법 중 어느 것에 의해 간섭 광 성분을 분석할 수 있다. 그러나, Δt 가 짧으면, 에칭 속도는 간섭 파형의 왜곡에 의해 영향을 받고, 그 결과, 에칭 속도는, 예컨대, 사인파에서 위상 p 가 $\pi/2$ 에 정확히 대응하는 경우 20%까지 감소되고 위상 p 가 $3\pi/2$ 에 대응하는 경우에 에칭 속도는 약 20%까지 증가된다.

[0062] 이상 설명된 바와 같이, 간섭 파형은 사전결정된 위상($\pi/2, 3\pi/2, \dots, m\pi/2$, m 은 홀수)에서 왜곡을 가지며, 에칭 속도는 이들 각 위상에서 최초의 에칭 속도로부터 이탈된다. 간섭 파형이 왜곡을 갖는 시간은 파장이 상

이한 경우 간섭 파형에 따라 상이하다. 따라서, 파장이 서로 상이한 복수의 간섭 파형 유형의 각각에 대해 에칭 속도가 획득되며, 동시에, 이들 간섭 파형의 각각에 대해 위상 p 가 획득된다. 간섭 파형의 파장을 선택함으로써, 3개의 간섭 파형중 하나는 왜곡을 갖고 나머지 두 간섭 파형을 왜곡을 갖지 않는 위상에서, 왜곡을 갖는 간섭 파형으로부터 획득된 에칭 속도를 왜곡을 갖지 않는 두 간섭 파형으로부터 획득된 에칭 속도로 보완하도록 하는 것에 주목해야 한다. 에칭 속도 보완 수단(26C)에서, 위상 $p_i(t)$ 에 상대되는 $\cos^2(p_i(t))$ 의 가중치가 i 번째 파장 λ_i 에 대한 시간 t 에서 획득된 계산된 에칭 속도 $E_i(t)$ 에 대해 프로그램에서 적용되며, 가중된 에칭 속도의 평균 에칭 속도 $E_{ave}(t)$ 이 다음 수학적 식 4에 의해 획득된다. 이러한 프로세스에 의해 $\cos^2(p_i(t))$ 는 파형이 왜곡되는 위상($p=\pi/2, 3\pi/2, \dots$)의 근방에서 제로에 접근하게 되며, 왜곡되지 않은 파형의 데이터의 가중치는 비교적 크게 제공된다. 결과적으로, 상호 왜곡을 수반하는 에칭 속도의 편차는 자동으로 서로 보완되어 평균 에칭 속도 E_{ave} 을 최초의 에칭 속도에 근접한 값으로서 획득할 수 있다. 그러나, 에칭 시간 동안에, 수학적 식 4의 분모, 즉, $\sum \cos^2(p_i(t))$ 가 제로가 되지 않도록, 즉, $\sum \cos^2(p_i(t)) \neq 0$ 이 되도록 허용하는 파장을 계속해서 선택할 필요가 있음에 주의해야 한다.

수학적 식 4

[0063]
$$E_{ave}(t) = [\sum E_i(t) \cos^2(p_i(t))] / \sum \cos^2(p_i(t))$$

[0064] 에칭 깊이 계산 수단(26D)에서, 에칭 깊이 $\delta(t)$ 가 다음 수학적 식 5로 표시되는 바와 같이 평균 에칭 속도 E_{ave} 을 시간으로 적분함으로써 각 시각 t 마다 계산된다.

수학적 식 5

[0065]
$$\delta(t) = \int E_{ave}(t) dt$$

[0066] 판정 수단(26E)에서, 에칭 깊이 $\delta(t)$ 를 앞서 설정된 목표 에칭 깊이와 비교함으로써 에칭 깊이 $\delta(t)$ 가 목표 에칭 깊이에 도달했는지의 여부를 판정한다. 목표 에칭 깊이에 도달하지 않은 경우, 앞서 설명된 일련의 동작이 목표 에칭 깊이에 도달할 때까지 반복된다.

[0067] 보다 구체적으로, 본 실시예의 에칭 깊이 검출 수단을 이제부터 도 4를 참조해서 설명한다. 에칭 장치의 처리실(11)내에 반도체 웨이퍼 W 가 에칭되기 시작하면, 에칭 모니터링 장치는 바람직하게는 자동으로 동작된다. 예컨대, 에칭 모니터링 장치는 고주파 전원(15, 17)이 에칭 모니터링 장치(20)의 온-오프 스위치와 결합되면 자동으로 동작된다. 에칭 모니터링 장치(20)가 동작되면, 반도체 웨이퍼 W 의 표면에 수직 방향으로 광원(21)으로부터 방출되어 광 섬유(22A)를 통해 전송된 조사광 L 이 조사된다(단계 S1). 조사된 광 L 은 에칭층 E 의 상부면과 다른 부분의 상부면으로부터 반사된다. 이 반사된 광 빔 또는 성분 L_0 , 즉, 에칭층 E 의 상부면과 에칭부 E' 의 상부면으로부터 반사된 광 빔은 서로 간섭하면서 광섬유(22B)를 통과하여 폴리크로미터(24)에 도달해서 제각기 350nm, 450nm 및 550nm의 파장을 갖는 간섭 광 빔들 또는 성분 L_1, L_2, L_3 로 분할된다(단계 S2). 그리고 나서, 간섭 광 빔의 강도가 제각기 제 1, 제 2 및 제 3 광 검출기(25A, 25B, 25C)에서 검출되며, 간섭 광 빔(L_1, L_2, L_3)은 제각기 광 검출기(25A, 25B, 25C)에서 전기 신호로 변환된다(단계 S3). 또한, 제각기 간섭 광 빔(L_1, L_2, L_3)에 대응하는 간섭 강도 신호(S_1, S_2, S_3)가 증폭기(도시되지 않음) 및 A/D 변환기(도시되지 않음)를 통해 분석 산술 수단(26)의 주파수 해석 수단(26A)에 공급된다.

[0068] 주파수 해석 수단(26A)에서, 최대 엔트로피 방법 또는 고속 푸리에 변환 방법을 이용함으로써 간섭 강도 신호(S_1, S_2, S_3)의 주파수가 분석되어, 시간(t)와 시간($t-\Delta t$)의 범위에서 주파수 $\omega_1(t), \omega_2(t), \omega_3(t)$ 와 위상 $p_1(t), p_2(t), p_3(t)$ 가 획득된다(단계 S4). 시간 폭 Δt 는 간섭 파형 각각의 반주기를 구성하도록 설정됨에 주의해야 한다. 주파수 해석 수단(26A)은 에칭 속도 계산 수단(26B)으로 주파수 신호 $\omega_1(t), \omega_2(t), \omega_3(t)$ 를 출력한다. 에칭 속도 계산 수단(26B)에서, 간섭 파형에 대응하는 에칭 속도를 표시하는 신호 $E_1(t), E_2(t), E_3(t)$ 가 이들 주파수 신호를 이용함으로써 앞서 주어진 수학적 식 3에 기초해 계산된다(단계 S5). 에칭 속도 계산 수단(26B)이 에칭 속도 보완 수단(26C)에 이들 에칭 속도 신호 E_1, E_2, E_3 을 공급하면, 이들 계산된 에칭 속도

신호를 이용함으로써 앞서 주어진 수학적 식 4에 기초해 에칭 속도 보완 수단(26C)에서 에칭 속도의 평균값을 나타내는 신호 $E_{ave}(t)$ 가 계산된다(단계 S6). 에칭 속도 보완 수단(26C)은 에칭 깊이 계산 수단(26D)으로 평균 에칭 속도 신호 E_{ave} 를 공급한다. 그러면, 에칭 깊이 계산 수단(26D)은 평균 에칭 속도 신호를 이용함으로써 앞서 주어진 수학적 식 5에 기초해 에칭 깊이를 계산하여, 계산된 에칭 깊이를 나타내는 신호를 판정 수단(26E)에 공급한다(단계 S7). 판정 수단(26E)에서, 에칭 깊이 신호에 기초해 에칭 깊이 $\delta(t)$ 가 목표 깊이에 도달했는지의 여부가 판정된다(단계 S8). 목표 깊이에 아직 도달하지 않았으면, 앞서 설명된 단계 S2 내지 S8의 동작이 반복된다. 그러나, 목표 깊이에 도달했으면, 고주파 전원(15, 17)은 제어 장치(28)에 의해 턴 오프되어 에칭 프로세스가 종료된다.

[0069] 도 5 내지 8에는 앞서 설명된 일련의 동작들의 결과가 도시되어 있다. 구체적으로, 도 5는 350nm, 450nm 및 550nm의 파장을 갖는 간섭 파형을 나타내는 그래프이다. 그래프의 가로 좌표에는 시간(초)이 도시되고, 세로 좌표상에는 간섭파의 강도(크기가 없는 수)가 도시된다. 도 5의 그래프에서, 간섭 파형은 위상 $\pi/2$ 와 $3\pi/2$ 에서 왜곡되지 않은 것으로 보인다. 그러나, 파형 분석이 적용된 경우 왜곡이 인식될 수 있다. 도 6은 각 시간에서의 에칭 속도 $E.R(\text{nm}/\text{sec})$ 을 나타내는 그래프로서, 앞서 기술된 수학적 식 3을 이용함으로써 제각기 350nm, 450nm 및 550nm의 파장을 갖는 간섭파로부터 개별적으로 획득된다. 도 7은 제각기 350nm, 450nm 및 550nm의 파장을 갖는 간섭파의 간섭 파형의 에칭 속도를 상호 보완하고 가중시킴으로써 획득된 각 시간에서의 에칭 속도를 나타내는 그래프이다. 에칭 속도는 앞서 기술된 수학적 식 4를 이용함으로써 획득되었다. 또한, 도 8은 시간(초)과 에칭 깊이(nm)간의 관계를 도시한다. 도 8에 도시된 일점쇄선은 앞서 기술된 수학적 식 3에 기초해 획득된 각 시간에서의 450nm의 단일 파장을 갖는 간섭 광으로부터 획득된 에칭 깊이를 표시한다. 한편, 도 8에 도시된 실선은 앞서 주어진 수학적 식 4를 기초로 획득된 각 시간에서의 3개의 파장을 갖는 간섭 광 빔으로부터 획득된 에칭 깊이를 나타낸다.

[0070] 도 6은 3가지 유형의 간섭 파형으로부터 획득된 계산된 에칭 속도 $E_1(t)$, $E_2(t)$, $E_3(t)$ 의 경우에서 이들 에칭 속도 각각이 원래 일정한 에칭 속도이어야 하는데, 약 $\pm 200\text{nm}/\text{sec}$ 내지 약 $800\text{nm}/\text{sec}$ 만큼 이탈되었음을 도시한다. 그러나, 도 7의 그래프는 계산된 세가지 유형의 에칭 속도를 가중시킴으로써 계산된 에칭 속도를 상호 보완함으로써 획득된 평균 에칭 속도 E_{ave} 로 되었을 때, 에칭 속도에 있어서의 에러가 약 $\pm 80\text{nm}/\text{sec}$ 까지 억제되어, 단일 파장을 이용한 경우와 비교해서 에칭 속도의 에러가 현저히 개선되었음을 보여준다. 한편, 도 8의 그래프는 세가지 유형의 파장이 서로 보완된 평균 에칭 속도 E_{ave} 을 기초로 획득된 에칭 깊이 δ 가 시간에 따라 선형적으로 변화하여 경사진 직선을 형성함을 나타낸다. 그러나, 단일 파장의 경우, 그래프의 경사는 에칭 속도에서의 에러에 의해 주어지는 영향하에서 변동한다.

[0071] 전술한 바와 같이, 본 실시예에 따르면, 반도체 웨이퍼 W는 서로 파장이 상이한 적어도 3개의 성분을 갖는 광으로 조사되고, 레지스트층 R 및 에칭층 E 사이의 경계면으로부터 반사되는, 즉 에칭층 E의 상부면으로부터 반사되고, 에칭부 E'로부터 반사되는, 반사 광 빔 L_0 은 폴리크로미터(24)상에 입사되도록 허용된다. 광 검출기(25)에서, 주기적으로 변화하는 반사된 광 L_0 의 파장이 서로 상이한 3 종류의 간섭 광 빔 L_1 , L_2 , L_3 은 제 1, 제 2, 제 3 광 검출기(25A, 25B, 25C)에서 각각 검출된다. 그 다음에, 간섭 파형의 주파수 $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$, $\omega_3(t)$ 는 간섭 광 빔 L_1 , L_2 , L_3 의 주파수를 분석함으로써 획득된다. 또한, 간섭 파형과 부합하는 에칭 속도는 이들 주파수에 근거하여 계산된 에칭 속도 $E_1(t)$, $E_2(t)$, $E_3(t)$ 로서 획득되며, 이어서 간섭 파형의 위상 $p_1(t)$, $p_2(t)$, $p_3(t)$ 에 근거하여 이들 계산된 에칭 속도에 가중치를 부여함으로써 3 종류의 간섭 파형의 평균 에칭 속도 E_{ave} 를 획득한다. 마지막으로, 에칭 깊이 $\delta(t)$ 는 평균 에칭 속도 E_{ave} 를 적분함으로써 계산된다. 단일 간섭 파형이 왜곡되기 위한 특정 시간에서 지정된 범위 $m\pi/2$ (m 은 기수임), 예를 들어 $\pi/2$ 에 대응한다 하더라도, 다른 간섭 파형은 $\pi/2$ 의 위상에 대응하지 않게 되어, 전자(前者)의 한 에칭 속도에 후자의 두 에칭 속도를 보완함으로써 전자의 한 간섭 파형의 왜곡의 영향을 $\pi/2$ 에서 억제할 수 있음에 주의해야 한다. 이로 인해 에칭 깊이를 정확하게 검출할 수 있게 된다.

[0072] 본 실시예에서 에칭 속도가 계산되는 경우, 에칭 속도는 3 종류의 간섭 파형의 주파수 $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$, $\omega_3(t)$ 및 평균 에칭 속도 E_{ave} 에 근거하여 계산된 에칭 속도 $E_1(t)$, $E_2(t)$, $E_3(t)$ 로서 획득되며, 여기서 임의의 간섭 파형의 왜곡에 근거하여 계산된 에칭 속도의 편차는 왜곡되지 않는 다른 간섭 파형에 근거하여 계산된 에칭 속도에 의해 보완되어, 에칭 속도로서 계산된다. 이로 인해, 임의의 간섭 파형이 왜곡된다 하더라도, 왜곡의 영향이 억제되는 에칭율을 획득하는 것이 가능하다. 임의의 간섭 파형의 왜곡에 근거하여 계산된 에칭 속도의

편차를 왜곡되지 않는 다른 간섭 파형에 근거하여 계산된 에칭 속도로 보완하기 위해, 주파수를 분석함에 있어, 3 종류의 간섭 파형의 위상 $p_1(t)$, $p_2(t)$, $p_3(t)$ 가 또한 획득되며, 여기서 계산된 에칭 속도 $E_1(t)$, $E_2(t)$, $E_3(t)$ 는 가중된 평균을 획득하기 위해 이들 간섭 파형의 위상에 따라 $\cos^2(p_1(t))$ 로 평균화되어, 평균 에칭 속도 $E_{ave}(t)$ 가 에칭 속도로서 획득됨에 또한 주의해야 한다. 이로 인해 각각의 간섭 파형의 왜곡이 나타나는 $\pi/2$, $3\pi/2, \dots, m\pi/2$ 각각에서 왜곡의 영향을 확실하게 억제하는 것이 가능하게 된다. 가중치 평균을 획득함에 있어서, 간섭 파형은 3 종류의 간섭 파형의 파장이 동시에 $m\pi/2$ (m 은 기수임)가 되지 않도록 선택된다. 따라서, 임의의 간섭 파형의 편차에 근거하여 계산된 에칭 속도의 편차를 왜곡되지 않는 다른 간섭 파형에 근거하여 계산된 에칭 속도로 확실하게 보완하는 것이 가능하다.

[0073] 도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 에칭 깊이 검출 방법을 작동시키는데 사용된 에칭 장치(10)의 구조를 일례로서 도시한다.

[0074] 도 9에 도시된 바와 같이, 본 실시예의 에칭 장치(10)는 반도체 웨이퍼 W 의 처리실(11)과 처리실(11)내의 반도체 W 의 에칭 상태를 모니터링하는 에칭 모니터링 장치(30)를 포함하며, 에칭 모니터링 장치(30)를 제외하고 도 1에 도시된 에칭 장치(10)와 부합하도록 구성된다. 따라서, 에칭 모니터링 장치(30)는 도 9에 도시된 에칭 장치(10)의 관점에서 주로 기술된다.

[0075] 도 9에 도시된 에칭 장치(10)와 결합된 에칭 모니터링 장치(30)는 광원(21), 광 파이버(22A, 22B), 렌즈(23), 모노크로미터(34), 광 검출기(35), 분석 산술 수단 또는 회로(36), 메모리(37)를 포함한다. 본 실시예에서, 처리실(11)내에 배치된 반도체 웨이퍼 W 의 표면은 광원(21)로부터 방사된 조사 광 L 로 조사되고 반도체 웨이퍼 W 의 표면으로부터 반사된 광 L_0 이 검출되어, 단일 광 빔 L_1 에 근거한 에칭 상태에 근거하여 실시간으로 모니터링한다. 에칭 깊이가 사전결정된 값에 도달한 경우, 에칭은 제어 장치(28)를 거쳐 중지된다.

[0076] 분석 산술 수단(36)은 간섭 광 빔 L_1 의 간섭 파형의 연속적인 최대값 및 최소값을 검출하는 극값 검출 수단 또는 회로(36A), 극값 검출 수단(36A)에 의해 검출된 간섭 파형의 최대값 및 최소값에 근거하여 후속 간섭 파형의 진폭을 측정하는 진폭 측정 수단(36B), 측정된 진폭에 대한 특정 시간에서의 간섭 파형의 강도의 비에 근거하여 간섭 파형의 위상을 계산하는 위상 계산 수단 또는 회로(36C), 위상 계산 수단(36C)에 의해 획득된 위상에 근거하여 에칭 깊이를 계산하는 에칭 깊이 계산 수단 또는 회로(36D), 에칭 깊이 계산 수단(36D)에 의해 획득된 에칭 깊이를 판정하는 판정 수단 또는 회로(36E)를 포함한다.

[0077] 이하 본 실시예의 기본 개념에 대해 기술될 것이다.

[0078] 이미 기술한 바와 같이, 간섭 파형은 이미 주어진 수학적 식 (1)으로 표시된 바와 같이 주기적으로 가변된다. 그러나, 간섭 광 빔은 에칭용 플라즈마의 발광의 영향에 의해 영향을 받는다. 또한, 간섭 광 빔의 반사 및 투과 는 에칭 깊이에 따라 달라진다. 따라서, 간섭 광 빔의 진폭은 도 5에 도시된 바와 같이 점차적으로 감소된다. 이러한 상황에서, 간섭 파형은 이미 주어진 수학적 식 (1)과 감쇠율 $\exp(-\gamma t)$ 을 고려하여 표시되는데, 즉 다음과 같다.

수학적 식 6

[0079]
$$I = I_{dc} + I_{pp}\exp(-\gamma t)\sin(\omega t)$$

[0080] 여기서 I_{dc} , I_{pp} , γ 각각은, 상수이다(댐핑율로서, 주기적 편차의 극값을 통과하는 포락선의 근사식(6)의 상수 임).

[0081] 극값 검출 수단(36A)에서, 간섭 파형 강도의 최대값 및 최소값은 간섭 파형의 실질적인 위상($p = \omega t$)이 $\pi/2$, $3\pi/2, 5\pi/2, \dots, m\pi/2$ (m 은 기수임)이 되는 지점에서 검출된다. 엄격하게 말하자면, 이들 값은 극값이 아니다. 그러나, 관측된 간섭 파형에서, 주파수 ω 는 γ 보다 지수적으로 크고, 따라서 이들 값은 대략 극값으로서 간주 될 수 있다. 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 는 ω 의 변화에 비해 변화가 완만하다 하더라도, 시간에 따라 또한 변화된다. 이러한 상황에서, 3개의 근접한 극값 I_1, I_2, I_3 은 시간 t_1, t_2, t_3 에서 연속적으로 검출되며, 이들 극값 I_1, I_2, I_3 을 표시하는 신호는 진폭 측정 수단(36B)에 공급된다. 이들 극값은 도 10에서 마크 "x"로 표시된다.

[0082] 진폭 측정 수단(36B)에서, 3개의 극값을 통과하는 포락선은 숫자 분석 방법인 이분법을 이용하여 극값 검출 수단(36A)으로부터 공급된 연속적인 간섭 강도의 3개의 극값 I_1, I_2, I_3 으로부터 근사식 (6)에 근거하여 결정된다.

그 다음에, 근사식 (6)에서 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 는 포락선의 3개의 극값 I_1 , I_2 , I_3 에 근거하여 획득되고 나서, 앞서 언급한 상수가 결정되었던 수학식 (6)이 결정되고 위상 계산 수단(36C)에 공급된다.

[0083] 위상 계산 수단(36C)에서, 시간 (t)에서 간섭 파형의 강도 $I(t)$ 는 진폭 측정 수단(26B)에서 결정된 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 를 이용함으로써 검출되고, 그에 따라 검출된 강도 $I(t)$ 는 수학식 (6)을 변환하여 획득되는, 이하 주어지는 수학식 (7)로부터 시간 (t)에서 위상 $p(t)$ 를 획득하는 것이 가능하다. 위상 신호는 그 다음에 예칭 깊이 계산 수단(36D)에 공급된다.

수학식 7

[0084]
$$p(t) = \text{Arcsin}[(I(t) - I_{dc}) / (I_{pp} \exp(\gamma t))]$$

[0085] 예칭 깊이 계산 수단(36D)에서, 위상 계산 수단(36C)에서 획득되는 시간 (t)에서 예칭 깊이 $\delta(t)$ 는 위상 $p(t)$ 및 예칭 깊이 $\delta(t)$ 사이의 관계를 나타내는, 이하 주어지는 수학식 (8)로부터 획득된다. 도 11은 예칭 깊이 $\delta(t)$ 및 이에 따라 획득된 시간 사이의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 11로부터 명백한 바와 같이, 예칭 깊이에서 시간에 따른 변화를 나타내는 그래프를 도시하며, 일정한 예칭 속도를 가정한다면, 이 그래프는 곡선이 아닌 직선이다.

수학식 8

[0086]
$$\delta(t) = p(t) \lambda / (2 \pi n)$$

[0087] 이전에 참조된 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 는 다수의 지점을 이용하여 최소 자승 방법에 의해 획득될 수 있다. 그러나, 획득된 근사식 (6)의 경우, 간섭 파형($I = I_{dc} + I_{pp} \exp(\gamma t) \sin(\omega t)$)은 반드시 모든 극값을 통과할 필요가 없으며, 극값 부근의 위상 $p(t)$ 의 값은 매우 부정확하게 렌더링된다. 그러나, 본 실시예에서와 같이, 3개의 극값으로부터 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 가 획득되는 경우, 간섭 파형은 모든 극값을 확실하게 통과하여 높은 정밀도의 간섭 파형을 보장하게 된다.

[0088] 이하 도 10 및 11과 관련하여 본 실시예의 예칭 깊이 검출 방법이 보다 상세하게 기술될 것이다. 간섭 광 빔의 신호가 모노크로미터(34) 및 광 검출기(35)를 통해 분석 산술 수단(36)로 공급되는 경우, 간섭 강도의 극값은 극값 검출 수단(36A)에서 시간에 따라 검출된다. 예를 들어, 간섭 강도의 극값 I_1 , I_2 , I_3 은 도 10에 도시된 바와 같이 극값 검출 수단(36A)에 있어서 시간 t_1 , t_2 , t_3 에서 연속적으로 검출된다. 진폭 측정 수단(36B)에서, 3개의 연속적인 지점을 통과하는 포락선은 숫자 분석 방법인 이분법에 의해 이들 간섭 강도에 근거하여 근사식 (6)으로부터 결정되고, 이어서 포락선의 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 가 결정된다. 이들 상수는 근사식 (6)을 결정하도록 근사식 (6)의 상수로서 결정된다. 시간 t_3 및 t_4 사이의 다음 주기에서, 상기 상수가 결정되었던 근사식으로부터 시간 t_3 및 t_4 사이의 예칭 깊이 및 수학식 (7) 및 (8)로부터 해당 시간에서의 간섭 강도를 획득하는 것이 가능하다. 다음 극값이 나타나는 시간 t_4 에서, 해당 시간에서의 상수 및 근사식 (6)은 이분법을 이용하여 이 시간에서의 간섭 강도의 극값 I_4 를 포함하여 3개의 연속적인 극값 I_2 , I_3 , I_4 으로부터 상기와 같이 결정된다. 또한, 시간 t_4 및 t_5 사이의 예칭 깊이는 새롭게 결정된 근사식 및 시간 t_4 및 t_5 사이의 간섭 강도의 극값으로부터 획득될 수 있다. 예칭이 종료될 때까지 유사한 절차가 반복되며, 사전결정된 예칭 깊이가 마지막에 도달된 때에, 고주파원(15 및 17)은 제어 장치(28)를 통해 턴 오프되어 예칭 처리를 종료한다.

[0089] 전술한 바와 같이, 본 실시예에 따른 예칭 깊이 검출 방법은 광 L로 반도체 웨이퍼 W를 조사하고, 예칭층 E의 상부면 및 예칭부 E'의 표면으로부터 반사된 광 빔 L_0 에 의해 야기되어, 주기적으로 변화하는 간섭 광 빔 L_1 을 검출하며, 간섭 광 빔 L_1 의 근사식 (6)을 결정하고, 간섭 광 빔의 강도로부터 근사식 (6)에 포함된 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 를 결정하며, 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 가 결정된 수학식 (6) 및 간섭 광 강도의 극값 I_1 , I_2 , I_3 에 근거하여 예칭 깊이 $\delta(t)$ 를 계산한다. 중요한 점은, 본 발명에서 적어도 3개의 극값이 검출되는 경우, 예칭 깊이가 적은 양의 계산으로 단 시간의 계산에 의해 획득될 수 있다는 점이다. 즉, 본 발명의 예칭 깊이 검출 방법은 시간에 대한 응답 능력이 우수하다.

[0090] 근사식의 상수를 결정함에 있어서, 근사식 (6)의 포락선은 근사식 (6)으로부터 결정되며, 포락선의 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 는 간섭 광 강도의 극값 I_1, I_2, I_3 으로부터 획득된다. 이에 따라 획득된 상수는 근사식 (6)의 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 로서 획득된다. 이로 인해, 예를 들어 최소 자승 방법의 기술에 비해, 높은 정확도를 갖는 간섭 파형을 획득하는 것이 가능해진다. 또한, 포락선의 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 가 3개의 연속적인 극값 I_1, I_2, I_3 으로부터 획득 가능하기 때문에, 매우 적은 양의 데이터로 포락선을 결정하는 것이 가능하다. 이로 인해, 단 시간에 실시간에 근거하여 에칭 깊이를 획득하는 것이 가능하게 되어, 본 발명의 방법은 시간에 대한 응답 능력이 우수하게 된다. 주의해야 할 점은, 에칭 깊이를 계산함에 있어서, 간섭 파형의 위상 $p(t)$ 는 상수 I_{dc} , I_{pp} , γ 가 결정되었던 근사식 (6) 및 간섭 광 강도의 극값 I_1, I_2, I_3 에 근거하여 수학식 (8)을 이용하여 획득된다는 점이다. 또한, 에칭 깊이가 획득된 위상에 근거하여 계산되어, 에칭 깊이를 단 시간에 매우 적은 양의 데이터로부터 획득하는 것이 가능하게 된다.

[0091] 전술한 바와 같이, 본 실시예에서, 간섭 광 빔 L_1 의 반사 파형의 3개의 연속적인 최대값 및 최소값은 극값 검출 수단(36A)에서 극값 I_1, I_2, I_3 로서 검출된다. 그 다음에, 후속 파형의 진폭은 이들 극값 I_1, I_2, I_3 에 근거하여 근사식 (6)으로부터 측정되며, 위상 $p(t)$ 는 시간 t 에서의 진폭에 대한 간섭 강도의 비, 즉 비 $[(I(t) - I_{dc}) / (I_{pp} \exp(\gamma t))]$ 로부터 계산된다. 에칭 깊이 $\delta(t)$ 는 위상 $p(t)$ 에 근거하여 계산되므로, 에칭 깊이는 적어도 3개의 극값이 검출되는 경우 적은 양의 계산으로 단 시간에 후속 에칭 속도를 계산함으로써 획득될 수 있다.

[0092] 전술한 제 2 방법에서, 위상 $p(t)$ 는 수학식 $p(t) = \text{Arcsin}(f(t))$ 및 $f(t) = (I(t) - I_{dc}) / (I_{pp} \exp(\gamma t))$ 를 이용하여 획득되며, 위상 $p(t)$ 의 에러 Δp 는 수학식 (9)로 표시된다. 따라서, 에러는 위상 $p = m\pi/2$ (m 은 기수임)에서 생성된다. 실시예 1에서와 같은 복수의 파장을 갖는 광 빔을 이용하고, 단일 간섭 파형이 왜곡을 갖는 위상 $p(t)$ 에서 다른 간섭 파형의 위상을 이용하여 상기한 에러를 확실하게 억제하여, 고정밀도로 에칭 깊이를 획득한다는 것에 주의해야 한다. 프로그램에 있어서, 평균값은 실시예 1과 같은 수학식 (10)로 표시된 바와 같이 $\cos^2(p)$ 를 갖는 각각의 파장 λ 에 대해 수학식 (8)에 의해 획득된 에칭 깊이 δ_i 를 가중치 부여함으로써 획득된다. 이 경우에 사용된 에칭 장치에서, 폴리크로미터 및 복수의 광 검출기는 도 9에 도시된 모노크로미터 및 광 검출기 대신에 사용된다.

수학식 9

[0093] $\Delta p = dp/df * \Delta f = 1/\cos(p) * \Delta f$

수학식 10

[0094] $\delta(t) = [\sum \delta(t) \cos^2(p(t)) / \sum \cos^2(p(t))]$

[0095] 전술한 실시예에는 최대 엔트로피 방법 또는 고속 푸리에 변환 방법을 이용하여 에칭 깊이를 검출하는 방법 및 간섭 파형의 진폭의 시간에 따른 변화를 측정하여 에칭 깊이를 검출하는 방법에 관한 것이다. 전자의 방법은 간섭 파형의 왜곡 영향을 수용하지 않는 경향이 있다. 또한, 전자의 방법에서는 프로그래밍이 용이하고 편리하게 사용될 수 있다. 한편, 후자의 방법은 시간에 대한 응답 능력 및 계산 속도가 우수하다. 이로 인해 에칭의 세부사항에 따라 달라지는 이들 방법을 적절하게 선택하거나 또는 최종 예에서 대략 기술된 바와 같은 이들 방법의 조합을 이용하는 것이 바람직하다. 물론, 본 발명은 전술한 모든 실시예로 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적인 개념이 이용되는 한 폭넓은 범위를 커버한다.

[0096] 전술한 실시예에서, 본 발명의 기술적인 개념은 반도체 기판의 에칭에 적용된다. 그러나, 상기 설명으로부터 명백한 바와 같이, 본 발명의 기술적인 개념은 LCD용의 유리 기판상에 형성된 층과 같은 다른 피처리체의 에칭에 또한 적용될 수 있다.

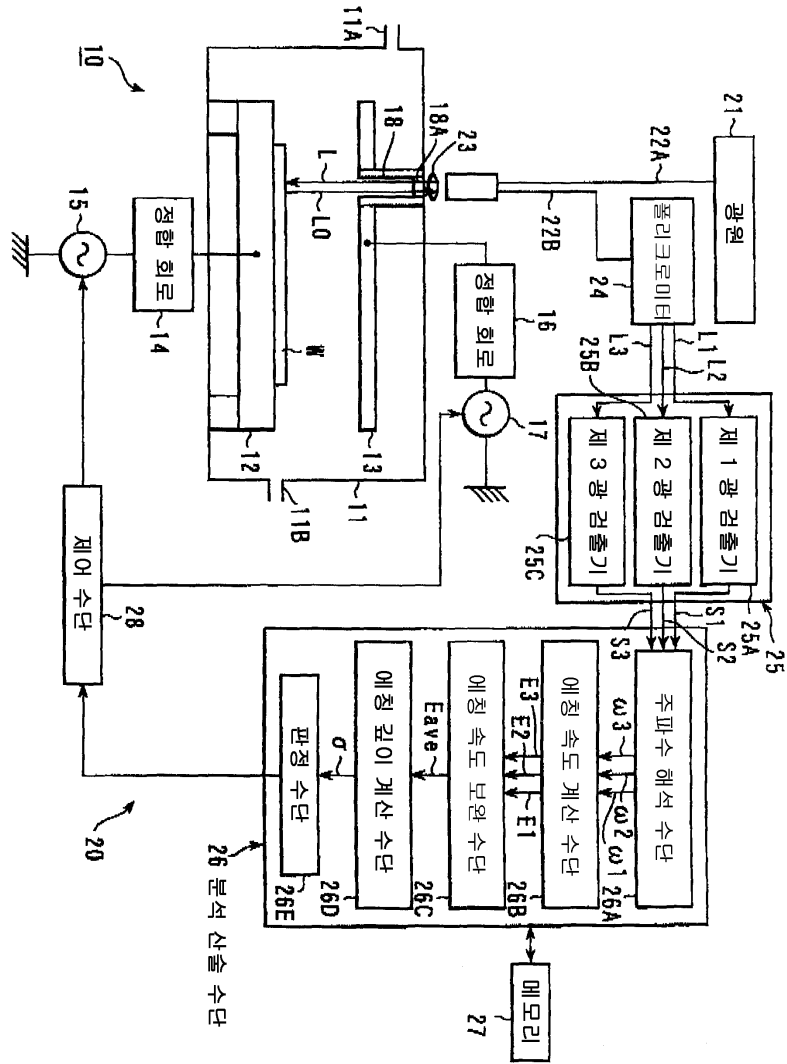
[0097] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 간섭 파형의 사전결정된 위상에서 왜곡이 존재한다 하더라도 왜곡의 영향을 억제하여 고정밀도로 에칭 깊이를 검출할 수 있도록 한 에칭 깊이를 검출하는 방법이 제공된다.

[0098] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 에칭 깊이를 단 시간에 계산할 수 있고, 이에 따라 시간에 대한 응답 능력이 우수한, 에칭 깊이를 검출하는 방법이 제공된다.

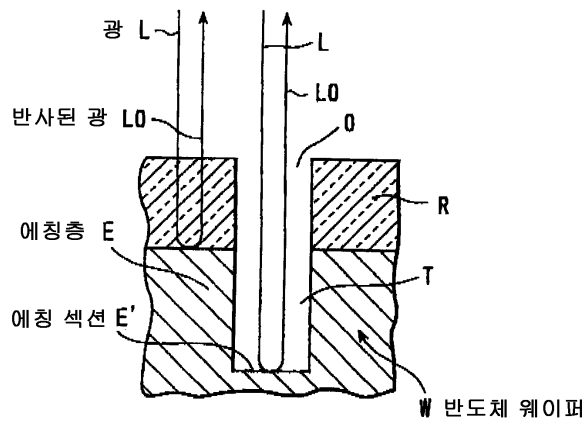
[0099] 당업자라면 본 발명의 부가적인 장점 및 본 발명에 대한 변형예가 용이하게 이루어질 것이다. 따라서, 본 발명

도면

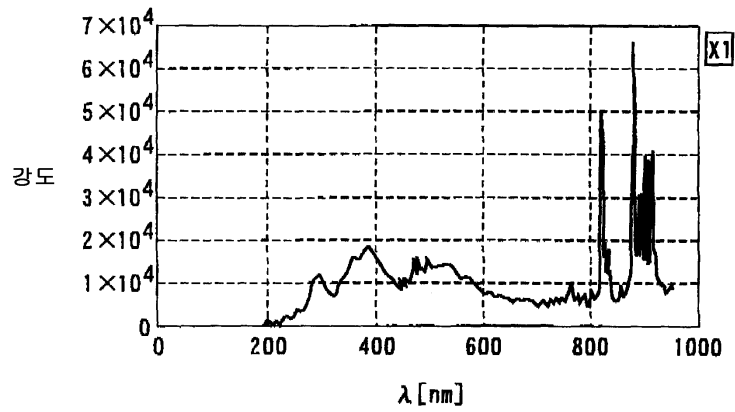
도면1



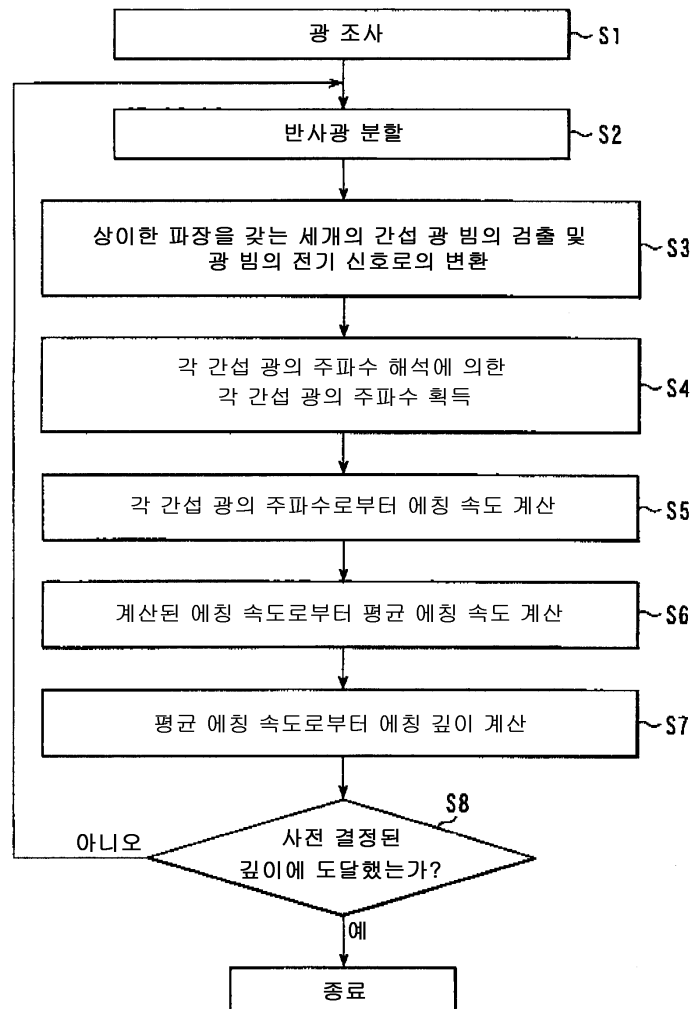
도면2



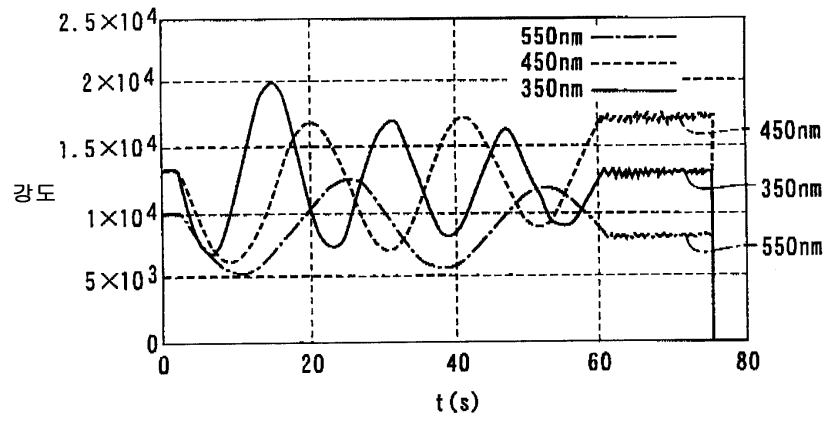
도면3



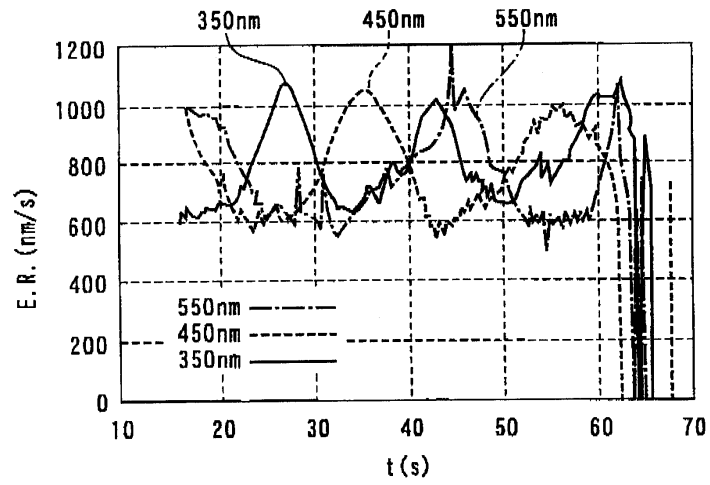
도면4



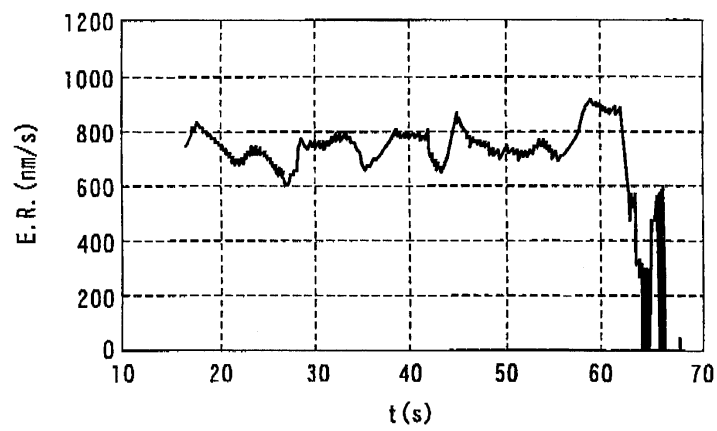
도면5



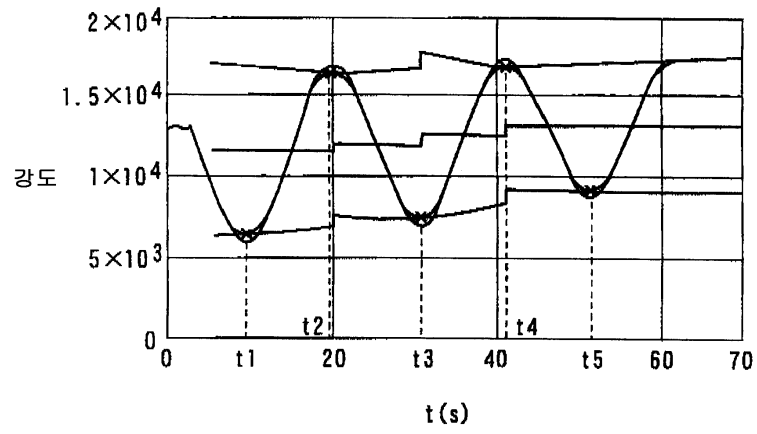
도면6



도면7



도면10



도면11

