



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년08월14일
(11) 등록번호 10-1296958
(24) 등록일자 2013년08월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 21/66 (2006.01) G06T 7/00 (2006.01)

G01N 21/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0099999

(22) 출원일자 2012년09월10일

심사청구일자 2012년09월10일

(56) 선행기술조사문헌

JP2006186221 A

KR1019980034494 A

KR101151588 B1

US20110146908 A1

전체 청구항 수 : 총 14 항

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

김병환

서울특별시 강남구 일원동 상록수 아파트 102동 406호

(74) 대리인

특허법인대백

심사관 : 김교홍

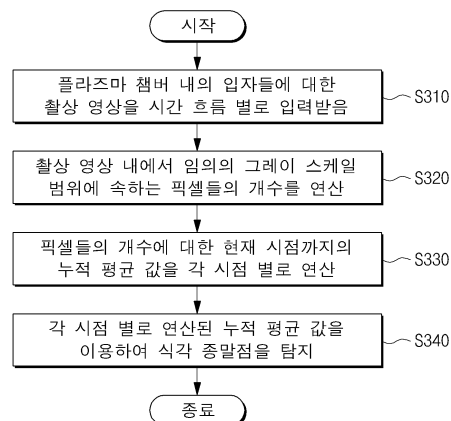
(54) 발명의 명칭 플라즈마 입자 촬상 장치 및 이를 이용한 식각 종말점 탐지 방법

(57) 요약

본 발명은 플라즈마 입자 촬상 장치 및 이를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 플라즈마 챔버를 통하여 박막을 식각하기 위한 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 있어서, 상기 플라즈마 챔버 내의 입자들에 대한 촬상 영상을 시간 흐름 별로 입력받는 단계와, 상기 촬상 영상 내에서 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 연산하는 단계와, 상기 픽셀들의 개수에 대한 현재 시점까지의 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산하는 단계, 및 상기 각 시점 별로 연산된 누적 평균 값을 이용하여 상기 식각의 완료 시점인 식각 종말점을 탐지하는 단계를 포함하는 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법을 제공한다.

상기 플라즈마 입자 촬상 장치 및 이를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 따르면, 박막을 식각하는 플라즈마 챔버 내에서 식각되는 물질을 구성하는 입자들의 촬상 영상을 시간 흐름 별로 획득하고 이로부터 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수에 대한 누적 평균 값을 연산하는 것을 통해 식각 종말점을 용이하게 탐지할 수 있는 이점이 있다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2012R1A1A2008720
부처명	교육과학기술부
연구사업명	일반연구자지원사업
연구과제명	공정 가스계 특이 플라즈마 쉬스 구조의 감시
주관기관	세종대학교 산학협력단
연구기간	2012.05.01 ~ 2015.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 있어서,

웨이퍼 상단의 박막이 식각되고 있는 플라즈마 챔버 내의 입자들에 대한 촬상 영상을 시간 흐름 별로 입력받는 단계;

상기 촬상 영상 내에서 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 연산하는 단계;

상기 픽셀들의 개수에 대한 현재 시점까지의 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산하는 단계; 및

상기 각 시점 별로 연산된 누적 평균 값을 이용하여 상기 식각의 완료 시점인 식각 종말점을 탐지하는 단계를 포함하는 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

m번째 시점에서의 누적 평균 값은 아래의 수학식으로 연산되는 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법:

$$\text{누적평균}_m = \frac{\sum_{i=1}^m N_i}{m}$$

여기서, N_i 는 m번째 시점의 영상에서 연산된 상기 픽셀들의 개수, m은 2 이상의 정수이다.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 식각 종말점을 탐지하는 단계는,

상기 누적 평균 값이 최저 값이 되는 시점을 상기 식각 종말점으로 판단하는 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 식각 종말점을 탐지하는 단계는,

상기 m 번째 시점의 누적 평균 값과 m-1 번째 시점의 누적 평균 값 사이의 차이 값을 연산하는 단계;

상기 차이 값에 대한 누적 평균 값인 에러 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산하는 단계; 및

상기 에러 누적 평균 값이 기준 범위를 벗어나는 시점을 상기 식각 종말점으로 판단하는 단계를 포함하는 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 촬상 영상은 상기 플라즈마 챔버 내의 임의 공간에서 복원된 영상인 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 촬상 영상은 플라즈마 쉬스(Plasma sheath)에 대응되는 공간에서 복원된 영상인 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 플라즈마 입자 촬상 장치는,

레이저 빔을 발생시키는 레이저부;

상기 발생된 레이저 빔을 상기 플라즈마 챔버를 향하는 수평 방향과 상부를 향하는 수직 방향의 빔으로 분할하는 빔 분할기;

상기 수평 방향의 빔을 상기 플라즈마 챔버 내의 웨이퍼가 놓여진 척 상단부를 향해 확장시키는 빔 확장기; 및

상기 척 상단부를 통과한 후 상기 플라즈마 챔버의 내벽으로부터 반사되는 빔을 상기 빔 분할기를 통해 입력받아 상기 촬상 영상을 획득하는 CCD 센서를 더 포함하는 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법.

청구항 8

웨이퍼 상단의 박막이 식각되고 있는 플라즈마 챔버 내의 입자들에 대한 촬상 영상을 시간 흐름 별로 입력받는 영상 입력부;

상기 촬상 영상 내에서 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 연산하는 제1 연산부;

상기 픽셀들의 개수에 대한 현재 시점까지의 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산하는 제2 연산부; 및

상기 각 시점 별로 연산된 누적 평균 값을 이용하여 상기 식각의 완료 시점인 식각 종말점을 탐지하는 종말점 탐지부를 포함하는 플라즈마 입자 촬상 장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

m번째 시점에서의 누적 평균 값은 아래의 수학식으로 연산되는 플라즈마 입자 촬상 장치:

$$\text{누적평균}_m = \frac{\sum_{i=1}^m N_i}{m}$$

여기서, N_i 는 m번째 시점의 영상에서 연산된 상기 픽셀들의 개수, m은 2 이상의 정수이다.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 종말점 탐지부는,

상기 누적 평균 값이 최저 값이 되는 시점을 상기 식각 종말점으로 판단하는 플라즈마 입자 촬상 장치.

청구항 11

청구항 9에 있어서,

상기 종말점 탐지부는,

상기 m 번째 시점의 누적 평균 값과 m-1 번째 시점의 누적 평균 값 사이의 차이 값을 연산하고,

상기 차이 값에 대한 누적 평균 값인 에러 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산한 다음,

상기 에러 누적 평균 값이 기준 범위를 벗어나는 시점을 상기 식각 종말점으로 판단하는 플라즈마 입자 촬상 장치.

청구항 12

청구항 8에 있어서,

상기 촬상 영상은 상기 플라즈마 챔버 내의 임의 공간에서 복원된 영상 플라즈마 입자 촬상 장치.

청구항 13

청구항 8에 있어서,

상기 촬상 영상은 플라즈마 쉬스(Plasma sheath)에 대응되는 공간에서 복원된 영상인 플라즈마 입자 촬상 장치.

청구항 14

청구항 8에 있어서,

레이저 빔을 발생시키는 레이저부;

상기 발생된 레이저 빔을 상기 플라즈마 챔버를 향하는 수평 방향과 상부를 향하는 수직 방향의 빔으로 분할하는 빔 분할기;

상기 수평 방향의 빔을 상기 플라즈마 챔버 내의 웨이퍼가 놓여진 척 상단부를 향해 확장시키는 빔 확장기; 및

상기 척 상단부를 통과한 후 상기 플라즈마 챔버의 내벽으로부터 반사되는 빔을 상기 빔 분할기를 통해 입력받아 상기 촬상 영상을 획득하는 CCD 센서를 더 포함하는 플라즈마 입자 촬상 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 플라즈마 입자 촬상 장치 및 이를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 플라즈마를 이용한 박막 식각 과정에서 식각이 완료되는 시점을 탐지할 수 있는 플라즈마 입자 촬상 장치 및 이를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로 식각 종말점(etch endpoint)은 일정 두께로 증착된 박막을 플라즈마로 식각할 때 박막이 완전히 제거되는 순간을 의미한다. 만약 식각 종말점을 제때 탐지하지 못하게 되면, 박막과 인접한 다른 박막 혹은 박막 하부의 웨이퍼가 식각되어 손상(damage)되는 문제점이 있다. 보통의 경우 식각 종말점에 도달하면 오버에칭(overetch) 공정을 통해 해당 박막을 완전히 제거하는데, 종래에는 오버에칭이라는 부가적인 공정이 요구된다.

[0003] 일반적으로 식각 종말점을 탐지하기 위하여 소자 제조 공정에 이용되는 센서는 OES(Optical Emission Spectroscopy; 광학 방출 시스템)이다. OES를 이용하여 식각 종말점을 판별하는 기술은 국내공개특허 제2003-0000274에 개시되어 있다.

[0004] 상기 OES는 물체로부터 반사된 빛의 강도(intensity)를 측정하는 방법으로서, 식각되는 물질과 관련된 특정 종(species)에 대응하는 파장(wavelength)의 강도를 측정하여 감시한다. 식각이 종료되는 시점에서는 검출되는 강도가 급격히 감소하게 되며 이러한 강도 변이를 추적하여 식각 종말점을 판단한다.

[0005] OES는 주로 플라즈마 장비의 중앙부에서 제공하는 반사된 빛의 특정 파장을 감시하는 방법을 사용한다. 그런데, 식각대상 부분의 패턴 간격은 보통 수십 nm로서 식각 지점이 매우 미세하므로 반사되는 특정 파장의 빛의 강도 또한 약하게 되며, 이는 식각 종말점의 정확한 탐지를 어렵게 하는 요소가 된다. 또한, 여러 파장의 입자로 구성된 빛의 경우 감시하는 특정 파장의 빛에 대해 간섭으로 작용하여 식각 종말점의 정확도를 떨어뜨리게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은, 박막을 식각하는 플라즈마 챔버 내의 입자들의 활상 영상을 이용하여 식각 종말점을 용이하게 탐지할 수 있는 플라즈마 입자 활상 장치 및 이를 이용한 식각 종말점 탐지 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명은, 플라즈마 입자 활상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 있어서, 웨이퍼 상단의 박막이 식각되고 있는 플라즈마 챔버 내의 입자들에 대한 활상 영상을 시간 흐름 별로 입력받는 단계와, 상기 활상 영상 내에서 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 연산하는 단계와, 상기 픽셀들의 개수에 대한 현재 시점까지의 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산하는 단계, 및 상기 각 시점 별로 연산된 누적 평균 값을 이용하여 상기 식각의 완료 시점인 식각 종말점을 탐지하는 단계를 포함하는 플라즈마 입자 활상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법을 제공한다.

- [0008] 여기서, m번째 시점에서의 누적 평균 값은 아래의 수학적식으로 연산될 수 있다.

$$\text{누적평균}_m = \frac{\sum_{i=1}^m N_i}{m}$$

[0009]

- [0010] 이때, N_i 는 m번째 시점의 영상에서 연산된 상기 픽셀들의 개수, m은 2 이상의 정수이다.

- [0011] 그리고, 상기 식각 종말점을 탐지하는 단계는, 상기 누적 평균 값이 최저 값이 되는 시점을 상기 식각 종말점으로 판단할 수 있다.

- [0012] 또한, 상기 식각 종말점을 탐지하는 단계는, 상기 m 번째 시점의 누적 평균 값과 m-1 번째 시점의 누적 평균 값 사이의 차이 값을 연산하는 단계, 상기 차이 값에 대한 누적 평균 값인 에러 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산하는 단계, 및 상기 에러 누적 평균 값이 기준 범위를 벗어나는 시점을 상기 식각 종말점으로 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

- [0013] 그리고, 상기 활상 영상은 상기 플라즈마 챔버 내의 임의 공간에서 복원된 영상일 수 있다.

- [0014] 또한, 상기 활상 영상은 플라즈마 쉬스(Plasma sheath)에 대응되는 공간에서 복원된 영상일 수 있다.

- [0015] 여기서, 상기 플라즈마 입자 활상 장치는, 레이저 빔을 발생시키는 레이저부와, 상기 발생된 레이저 빔을 상기 플라즈마 챔버를 향하는 수평 방향과 상부를 향하는 수직 방향의 빔으로 분할하는 빔 분할기와, 상기 수평 방향의 빔을 상기 플라즈마 챔버 내의 웨이퍼가 놓여진 척 상단부를 향해 확장시키는 빔 확장기, 및 상기 척 상단부를 통과한 후 상기 플라즈마 챔버의 내벽으로부터 반사되는 빔을 상기 빔 분할기를 통해 입력받아 상기 활상 영상을 획득하는 CCD 센서를 더 포함할 수 있다.

- [0016] 그리고, 본 발명은 웨이퍼 상단의 박막이 식각되고 있는 플라즈마 챔버 내의 입자들에 대한 활상 영상을 시간 흐름 별로 입력받는 영상 입력부와, 상기 활상 영상 내에서 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 연산하는 제1 연산부와, 상기 픽셀들의 개수에 대한 현재 시점까지의 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산하는 제2 연산부, 및 상기 각 시점 별로 연산된 누적 평균 값을 이용하여 상기 식각의 완료 시점인 식각 종말점을 탐지하는 종말점 탐지부를 포함하는 플라즈마 입자 활상 장치를 제공한다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명에 따른 플라즈마 입자 활상 장치 및 이를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 따르면, 박막을 식각하는 플라즈마 챔버 내에서 식각되는 물질을 구성하는 입자들의 활상 영상을 시간 흐름 별로 획득하고 이로부터 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수에 대한 누적 평균 값을 연산하는 것을 통해 식각 종말점을 용이하게 탐지할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 본 발명의 실시예를 위한 광학 현미경의 개략 구성도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 플라즈마 입자 촬상 장치의 구성도이다.

도 3은 도 2를 이용한 식각 종말점 탐지 방법의 흐름도이다.

도 4는 도 3의 S310 단계에서 입력받은 임의 시점에 대한 촬상 영상의 예를 나타낸다.

도 5는 도 4의 촬상 영상 중 $y=1\sim1700$ 영역에 대한 그레이 스케일별 입자수를 분석한 결과이다.

도 6은 도 3의 S320 단계를 위해 도 4의 촬상 영상에서 임의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 시간별로 연산한 그래프이다.

도 7은 도 3의 S330 단계 시에 도 6으로부터 얻어지는 각 시점별 누적 평균 값을 나타낸 그래프이다.

도 8은 도 7을 통해 획득되는 에러 누적 평균 그래프를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예를 위한 광학 현미경의 개략 구성도이다. 도 1의 두 장치는 웨이퍼를 포함하여 웨이퍼 상단부의 플라즈마 쉬스 공간 내의 입자들을 촬영한다.

[0021] 도 1의 (a)는 기존의 In-Line 광학 시스템으로서 레이저(Laser), 빔 확장기, CCD 센서로 구성된다. 플라즈마 장비 즉, 플라즈마 챔버에는 두 개의 윈도우(창 1, 창 2)이 요구된다. 척 위에는 웨이퍼가 놓여지며 웨이퍼 위에는 상에는 식각 대상이 되는 박막이 배치된다. 박막 상부에는 식각 지점만 노출되도록 별도의 마스크가 배치될 수 있다.

[0022] 레이저에서 발사된 빔은 빔 확장기에서 확장되어 척을 포함한 상단부를 비춘다. 이때, 레이저 빛을 흡수, 반사, 또는 투과하는 물질 입자의 정보가 CCD 센서에 저장된다. 일반적으로 쉬스(sheath) 공간은 전자수가 이온수보다 적은 공간으로서 척 근방에서 발생한다.

[0023] 도 1의 (b)는 기존의 On-Axis 광학 시스템의 변형예로서 빔 분할기의 상단부에 반사판이 없는 구조이다. 이러한 도 1의 (b)는 레이저부, 빔 분할기, 빔 확장기, CCD 센서로 구성된 플라즈마 입자 촬상 장치의 광학 구성 부분을 나타낸다. 플라즈마 챔버에는 하나의 윈도우(창 1)가 요구된다.

[0024] 상기 레이저부는 레이저빔을 발생시킨다. 빔 분할기는 발생된 레이저 빔을 플라즈마 챔버를 향하는 수평 방향과 상부를 향하는 수직 방향의 빔으로 분할한다. 빔 확장기는 상기 분할된 수평 방향의 빔을 플라즈마 챔버 내의 웨이퍼가 놓여진 척 상단부를 향해 확장시킨다. CCD 센서는 상기 척 상단부를 통과한 후 플라즈마 챔버의 내벽 으로부터 반사되어 돌아오는 빔을 상기 빔 분할기를 통해 입력받아, 상기 챔버 내의 입자들에 대한 촬상 영상을 획득한다.

[0025] 종래의 On-Axis 광학 시스템의 경우에는 빔 분할기의 상단부에 반사판이 있어서 수직 방향의 빔이 반사판에 부딪혀 하부의 CCD 센서로 입사되는 구조를 갖는다. 그러나, 본 실시예의 경우 반사판이 없기 때문에 빔 분할기에서 분할된 수평 방향과 수직 방향의 빔 중에서 수직 방향의 빔은 사용하지 않는다.

[0026] 이상과 같은 도 1의 (b) 장치는 레이저에 발사된 빛은 빔 분할기에서 수평 및 수직 방향의 빔으로 분할되고, 분할된 수평 방향의 빔은 창 1을 통과하여 척의 상단부를 비춘 다음 챔버의 반대편 벽에서 다시 반사된다. 또한, 벽에서 반사된 빛은 식각 물질 및 플라즈마 입자와 반응하게 되며 그 반응된 입자의 분포가 CCD 센서에 저장된다.

[0027] 이러한 도 1의 (a), (b) 모두의 경우 CCD 센서의 전단에 각종 필터(ex, spatial filter)가 설치되면 입자의 해상도를 증진시킬 수 있다.

[0028] 도 1을 통해 촬영한 영상을 이용한다면 챔버의 가로(또는 세로) 방향으로의 임의의 공간에서 입자수 분포를 구할 수 있다. 입자수 분포의 공간 분해를 위해 이용되는 알고리즘은 프레넬 존 변환(Fresnel zone transformation)이 이용된다.

[0029] 도 1을 이용하여 얻어지는 CCD 이미지는 본래 2차원 평면인 X, Y 축으로 이루어져 있지만 복원을 통하여 2차원 평면을 Z축으로 이동시켜 3차원의 공간에서 대상물을 구분할 수 있다. 이 복원 기술은 공지된 일반적인 방법으

로서 플라즈마 공간 내의 전자나 이온 분포를 계산하는 데에 응용된다. 복원 식은 수학식 1을 참조한다.

수학식 1

$$h(r,c) = F^{-1}[F[u(x,y)]\exp(i(k_x^2 + k_y^2)d)]$$

여기서, $u(x,y)$ 는 입력 이미지이고, d 는 object가 떨어진 거리이다. 예를 들어 d 값은 CCD 센서와 챔버 내의 임의의 지점 사이의 거리를 의미할 수 있다. k_x , k_y 는 프레넬 존 패턴(Fresnel zone pattern)을 만들기 위한 특이 함수이다. $h(r,c)$ 는 실수부와 허수부로 나뉜다. 수학식 2는 위상, 수학식 3은 크기를 나타내는 것으로서 이를 통해 다시 이미지화할 수 있게 된다.

수학식 2

$$\phi(r,c) = \arctan \frac{Im[h(r,c)]}{Re[h(r,c)]}$$

수학식 3

$$I(r,c) = |h(r,c)|$$

수학식 1의 d 를 조절하여 플라즈마 챔버 내의 임의의 공간에서의 2차원 2D 입자 분포를 수학식 3을 통해 복원할 수 있다. 수학식 3은 실수부와 허수부의 영상 정보를 이용하여 얻어진 것이다. 실수부의 영상 정보는 수학식 3으로 복원된 영상과 비슷하며, 따라서 복원된 영상을 대체하여 사용할 수 있다.

여기서, 플라즈마 챔버의 가로(또는 세로) 방향의 전체 거리에 대해 2D 입자 분포를 구한 다음 이를 결합하면 3차원의 3D 입자 분포를 구하는 것도 가능하다. 2D 복원 영상으로부터 웨이퍼 근방(ex, 웨이퍼 근방의 플라즈마 쉬스 영역)에서의 입자수 변이를 탐지하고 이를 챔버의 전체 가로 또는 세로 방향에서 복원한 2D 영상에 대해 각각 실시를 하여 상호 결합하면 3D 종말점 탐지가 가능하게 된다.

이하에서는 상기 광학 현미경을 통해 촬상된 영상을 이용한 플라즈마 입자 촬상 장치 및 이를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 관하여 상세히 설명한다. 예를 들어, 플라즈마 입자 촬상 장치는 도 1 (b)의 광학 현미경 구성을 포함한다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 플라즈마 입자 촬상 장치의 구성도이다. 상기 장치(100)는 영상 입력부(110), 제1 연산부(120), 제2 연산부(130), 종말점 탐지부(140)를 포함한다.

상기 영상 입력부(110)는 웨이퍼 상단의 박막이 식각되고 있는 플라즈마 챔버 내의 입자들에 대한 촬상 영상을 시간 흐름 별로 입력받는다. 이에 따라, 각각의 시점마다 촬상 영상이 획득된다.

상기 제1 연산부(120)는 상기 촬상 영상 내에서 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 연산한다. 이러한 제1 연산부(120)는 상기 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 상기 각 시점 별 촬상 영상에 대해 각각 연산한다.

상기 제2 연산부(130)는 상기 픽셀들의 개수에 대한 현재 시점까지의 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산한다. 누적 평균은 최초 시점으로부터 현재 시점까지의 누적된 개수에 대한 평균을 의미한다.

상기 종말점 탐지부(140)는 상기 각 시점 별로 연산된 누적 평균 값을 이용하여 상기 식각의 완료 시점인 식각 종말점을 탐지한다. 이렇게 식각 종말점을 탐지하는 것에 따르면 주변의 박막 표면 또는 박막 하부의 웨이퍼가 손상되는 것을 방지할 수 있다.

- [0042] 여기서, 식각 종말점 탐지에 사용되는 촬상 영상은 상기 플라즈마 챔버 내의 임의 공간에서 복원된 영상에 해당될 수 있는데, 그 중에서도 플라즈마 쉬스(Plasma sheath)에 대응되는 공간에서 복원된 영상에 해당될 수 있다.
- [0043] 도 3은 도 2를 이용한 식각 종말점 탐지 방법의 흐름도이다. 이하에서는 도 2 및 도 3을 참조로 하여 본 실시예에 따른 플라즈마 입자 촬상 장치를 이용한 식각 종말점 탐지 방법에 관하여 상세히 설명한다.
- [0044] 먼저, 상기 영상 입력부(110)에서는 웨이퍼 상단의 박막이 식각되고 있는 플라즈마 챔버 내의 입자들에 대한 촬상 영상을 시간 흐름 별로 입력받는다(S310). 즉, 각각의 시점 별로 획득된 복수의 촬상 영상을 입력받는다. 이러한 S310 단계는 플라즈마 챔버 내에서 박막을 식각하는 동안에 이루어진다.
- [0045] 도 4는 도 3의 S310 단계에서 입력받은 임의 시점에 대한 촬상 영상의 예를 나타낸다. 도 4의 촬상 영상에서 최상단 픽셀층 부분은 $y=1$, 최하단 픽셀층 부분은 $y=2048$ 지점에 해당된다. 촬상 영상의 하단 부분인 대략 $y=1500\sim 1739$ 부근은 플라즈마 쉬스(sheath) 영역을 포함하는 부분으로서 칩 근방에 해당된다.
- [0046] 도 5는 도 4의 촬상 영상 중 $y=1\sim 1700$ 영역에 대한 그레이 스케일별 입자수를 분석한 결과이다. 여기서, 입자수란 픽셀수를 의미한다.
- [0047] 도 5에서 가로 축은 그레이 스케일 값이고 세로 축은 각각의 그레이 스케일별 픽셀수이다. 여기서 픽셀수는 곧 입자수에 대응한다. 본 실시예의 경우 픽셀의 그레이 스케일 값을 8 비트로 사용하므로 그레이 스케일 값은 $0\sim 255$ (또는 $1\sim 256$) 사이의 값을 가진다.
- [0048] 이러한 도 5는 도 4의 전체 영상 중에서 플라즈마 공간 $y=1\sim 1700$ 범위 영역에 대하여, 각각의 그레이 스케일 값($1\sim 256$)에 해당하는 픽셀의 개수를 산출하여 분포 함수로 도시한 것이다. 그 결과 $y=1\sim 1700$ 범위의 영상을 구성하는 픽셀들 중에서, 그레이 스케일 값 $g=79$ 에 해당되는 픽셀의 총개수는 약 70000개이다. 즉, 최대 입자수가 발생하는 그레이 스케일 값은 79에 해당한다.
- [0049] 이후, 상기 제1 연산부(120)에서는 상기 각 시점별로 획득된 촬상 영상 내에서 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 각각 연산한다(S320).
- [0050] 도 6은 도 3의 S320 단계를 위해 도 4의 촬상 영상에서 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수를 시간별로 연산한 그래프이다. 각각의 그래프는 10초 동안 200장의 영상을 촬영(촬영 속도: 20장/sec)하여 획득된 결과이다. 그래프의 가로 축은 각 시점에 대한 인덱스($1\sim 200$ 범위)를 나타내고, 세로 축은 각 시점에서 연산된 임의의 그레이 스케일 범위 내의 픽셀들의 개수(입자수)를 나타낸다.
- [0051] 여기서, 도 6의 (a)는 $y=1\sim 1395$ 범위 영역에 대해, 임의의 그레이 스케일 범위($g=111\sim 120$)에 속하는 픽셀들의 개수를 각각의 촬영 시점별로 구하여 나타낸 것이다. 도 6의 (b)는 $y=1\sim 1700$, (c)는 $y=1466\sim 1600$ 범위 영역에 대해 앞서 도 6의 (a)와 동일한 원리를 적용한 결과이다. 도 6의 (c)는 쉬스 공간의 영역에 대한 그래프에 해당된다.
- [0052] 도 6의 (b)를 보면 동그란 점선 내의 입자수 패턴이 비슷하게 반복되는 것을 확인할 수 있는데 이는 식각 공정이 진행 중인 것을 의미한다. 식각 공정이 진행되는 동안에는 임의의 그레이 스케일 범위 내의 픽셀들의 개수가 시간의 흐름에 따라 일정 패턴으로 반복된다. 이는 식각 공정 중에 플라즈마 상태를 탐지하는 데에 중요한 단서로 활용된다.
- [0053] 상기 S320 단계 이후에는, 상기 픽셀들의 개수에 대한 현재 시점까지의 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산한다(S330). 이러한 S330 단계는 상기 제2 연산부(130)에서 수행한다.
- [0054] m 번째 시점에서의 누적 평균 값은 아래의 수학적 식 4로 연산된다.

수학적 식 4

$$\text{누적평균}_m = \frac{\sum_{i=1}^m N_i}{m}$$

[0055]

[0056] 여기서, N_i 는 m 번째 시점의 영상에서 연산된 상기 픽셀들의 개수, m 은 2 이상의 정수로서, 누적 평균 값을 구하는데 사용되는 영상의 개수이다.

[0057] 예를 들어, 누적평균₃은 1~3번째 시점의 영상에서 연산된 픽셀들의 개수의 합을 구한 다음 이를 3으로 나눈 값에 해당된다. 수학적 4는 누적 평균 값에 해당되므로 m 의 가장 작은 값은 2이다.

[0058] 여기서, 상기 m 번째 시점에서의 누적 평균 값은 아래의 수학적 5로 대체될 수 있다.

수학적 5

$$\text{누적평균}_m = \frac{(m-1) \times \text{누적평균}_{m-1} + N_m}{m}$$

[0059]

[0060] 이때, N_m 은 S320 단계 시에 m 번째 시점의 영상에서 연산된 상기 픽셀들의 개수이다. 누적평균 _{$m-1$} 은 이전 시점 즉, $m-1$ 번째 시점에서 수학적 4을 통해 구하여진 누적 평균 값을 나타낸다.

[0061] 이러한 수학적 5를 이용할 경우, 수학적 4만 사용하는 경우에 비하여 계산에 소요되는 시간을 줄일 수 있다. 즉, 수학적 5에 따르면, 바로 이전 시점에 계산된 누적 평균 값(누적평균 _{$m-1$})과 현재 시점에서 수집된 픽셀 개수(N_m)만 요구되므로 계산 속도를 증가시킨다.

[0062] 도 7은 도 3의 S330 단계 시에 도 6으로부터 얻어지는 각 시점별 누적 평균 값을 나타낸 그래프이다. 이러한 도 7은 상기 수학적 4 또는 수학적 5의 결과로부터 얻어진 시간 흐름 별 누적 평균 값을 나타낸다.

[0063] 이를 바탕으로 하여, 상기 종말점 탐지부(140)에서는 상기 각 시점 별로 연산된 누적 평균 값을 이용하여 상기 식각의 완료 시점인 식각 종말점을 탐지한다(S340).

[0064] 도 6을 통해 얻어진 도 7의 누적 평균 값은 시간 흐름에 따라 점차로 감소하다가 어느 순간이 되면 플랫(Flat)해지는 것을 확인할 수 있다. 도 7의 (b)에서 동그라미 표시된 부분을 참조하면, 화살표 시점 이전에는 박막이 식각되는 패턴을 나타내고 그 이후에는 박막(옥사이드 박막) 하부에 있던 웨이퍼(Si)가 식각되는 모습을 나타낸다. 웨이퍼의 식각 패턴은 박막을 식각할 때의 패턴과 유사하다. 누적 평균된 입자수는 시간에 따라 감소하고 있으며 화살표 시점을 기준으로 더 이상은 감소하지 않는다.

[0065] 본 실시예에서, 식각 전의 옥사이드 박막의 두께는 12Å를 사용하였고, 플라스마 챔버 내의 식각률 조건은 2Å/sec 정도를 사용하였으므로, 상기 12Å 두께를 갖는 옥사이드 박막은 대략 6초 근방에서 식각이 완료되어야 한다.

[0066] 도 7의 그래프에서 6초 근방의 시점은 누적 평균 값이 최저 값이 되는 시점에 대응하는 것을 알 수 있다. 따라서, 상기 S340 단계에서는 상기 누적 평균 값이 최저 값이 되는 시점을 상기 식각 종말점으로 판단할 수 있다.

[0067] 도 7의 경우 모든 플라스마 공간($y=1\sim 1395$, $y=1\sim 1700$, $y=1466\sim 1600$ 영역)에서 125번째 영상 즉, 6.125초에 해당되는 시점에서 식각 종말점이 탐지되었으며 이는 예상된 식각 종말점과 거의 일치함을 알 수 있다.

[0068] 이와 같이 본 실시예에서는 입자수에 대한 누적 평균 값만으로 식각 종말점을 탐지할 수 있다. 이외에도, 상기 S340 단계에서는 도 7의 누적 평균 값에 대한 여러 누적 값을 이용하여 상기 식각 종말점을 판단할 수 있으며, 그 방법은 다음과 같다.

[0069] 우선, 상기 종말점 탐지부(140)는, 상기 도 7의 결과에서 상기 m 번째 시점의 누적 평균 값과 $m-1$ 번째 시점의 누적 평균 값 사이의 차이 값을 연산한다. 상기 차이 값 E_m 은 아래의 수학적 6으로 나타낼 수 있다.

수학적 6

$$E_m = \text{누적평균}_m - \text{누적평균}_{m-1} ; m = 3, 4, 5, \dots$$

[0070]

- [0071] 이후, 상기 종말점 탐지부(140)는 상기 차이 값 E_m 에 대한 누적 평균 값인 에러 누적 평균 값을 각 시점 별로 연산한다. 이러한 에러 누적 평균 값은 수학식 4와 같은 원리로 구할 수도 있으며, 수학식 5의 원리를 통해 연산 과정을 간소화할 수도 있다.
- [0072] 수학식 5와 같은 원리를 이용할 경우, m 번째 시점에서의 에러 누적 평균 값은 아래의 수학식 7로 연산하면 된다.

수학식 7

$$\text{에러누적평균}_m = \frac{(m-3) \times \text{에러누적평균}_{m-1} + E_m}{m-2}$$

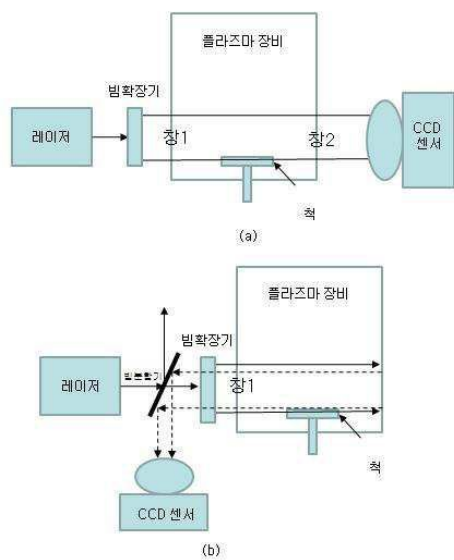
- [0073]
- [0074] 여기서, 또한 m 은 3, 4, 5, ...의 값을 갖는다.
- [0075] 즉, 수학식 7은 이전 시점에서 계산된 에러누적 평균 값(에러누적평균 $_{m-1}$)과 현재 시점에서 수집된 에러 값(E_m)만 요구되므로 계산 과정을 간소화하고 계산 시간을 단축시킬 수 있다.
- [0076] 도 8은 도 7을 통해 획득되는 에러 누적 평균 그래프를 나타낸다. 이러한 도 8은 수학식 7을 이용하여 얻어지는 그래프로서 시간 흐름에 따른 누적 에러의 평균 변이를 나타낸다.. 여기서, 101 이하의 시점 및 132 이상의 시점은 설명의 편의를 위해 생략 도시하고 있다.
- [0077] 도 8을 참조하면, 에러 누적 평균은 121 시점(6초)을 기준으로 급격한 하락 변이를 보인 이후 125 시점(6.24) 이후 다시 상승하는 변이를 나타낸다. 시각 종료 전, 0.25초 전에 나타나는 급격한 변화는 시각 종점 탐지에 유용한 변이로 활용될 수 있다. 즉, 본 실시예에서는 상기 에러 누적 평균 값이 기준 범위를 벗어나는 시점을 상기 시각 종말점으로 판단하도록 한다. 여기서, 상기 기준 범위를 벗어나는 시점 또는 그 근방의 시점을 시각 종말점으로 판단할 수 있음은 물론이다.
- [0078] 이상과 같은 본 발명에 따른 플라즈마 입자 촬상 장치 및 이를 이용한 시각 종말점 탐지 방법에 따르면, 박막을 식각하는 플라즈마 챔버 내에서 식각되는 물질을 구성하는 입자들의 촬상 영상을 시간 흐름 별로 획득하고 이로부터 임의의 그레이 스케일 범위에 속하는 픽셀들의 개수에 대한 누적 평균 값을 연산하는 것을 통해 시각 종말점을 용이하게 탐지할 수 있는 이점이 있다.
- [0079] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

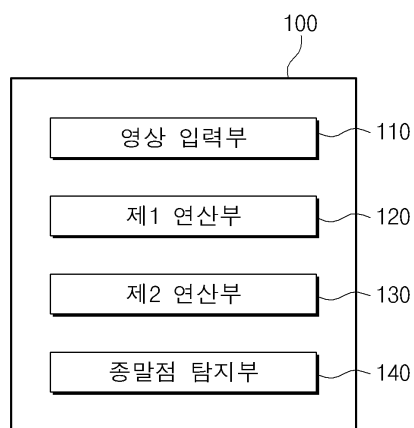
- [0080] 100: 플라즈마 입자 촬상 장치 110: 영상 입력부
120: 제1 연산부 130: 제2 연산부
140: 종말점 탐지부

도면

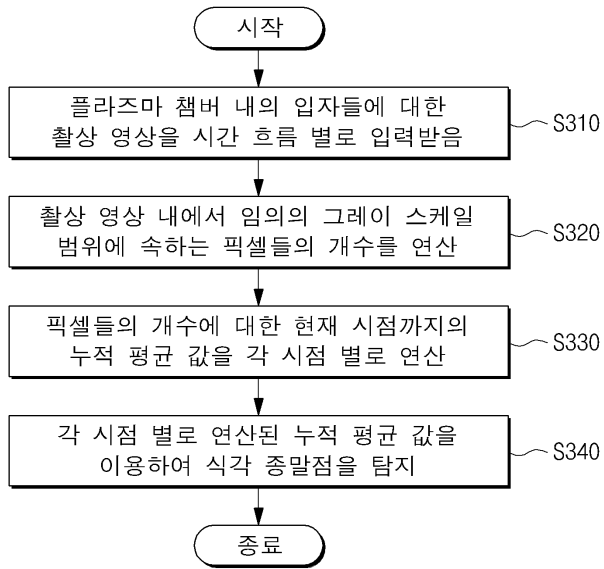
도면1



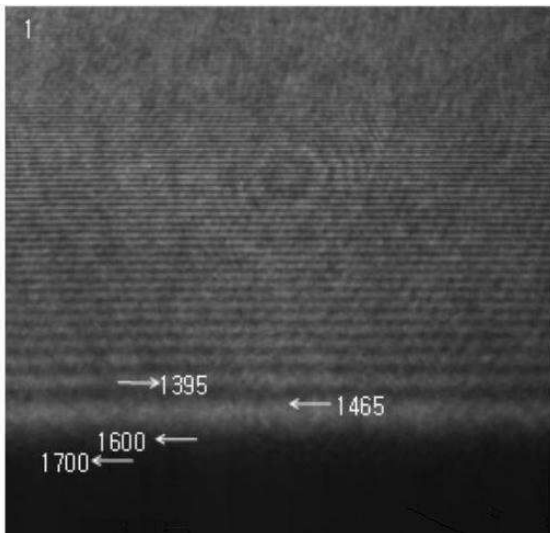
도면2



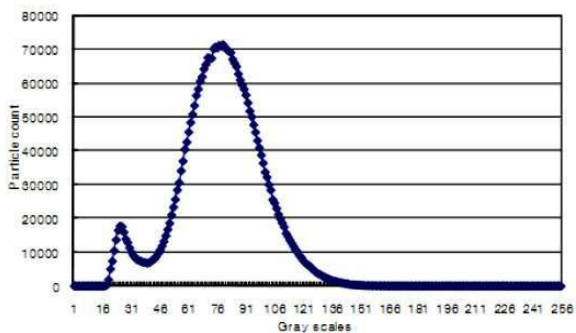
도면3



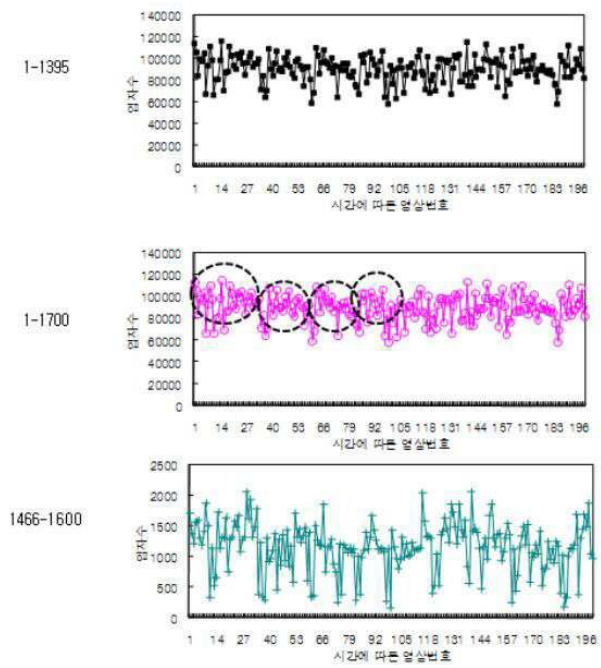
도면4



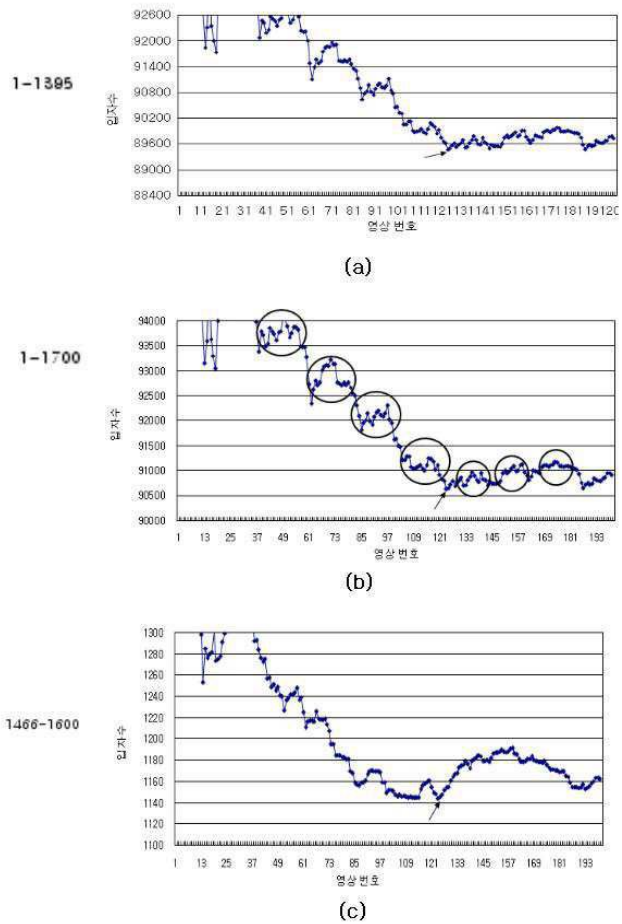
도면5



도면6



도면7



도면8

