



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0081149
(43) 공개일자 2013년07월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0002172
(22) 출원일자 2012년01월06일
심사청구일자 2012년01월06일
(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
김병환
서울특별시 강남구 일원본동 상록수아파트 102동 406호
(74) 대리인
특허법인아주양현

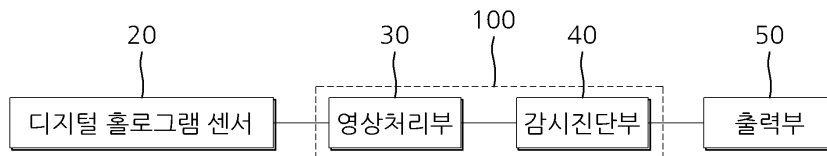
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 진공플라즈마 감시시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 진공플라즈마 감시시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 챔버 내부를 촬영하여 홀로그래프 영상을 생성하는 디지털 홀로그래프 센서, 홀로그래프 영상으로부터 챔버 내부의 입자분포를 계산하는 영상처리부 및 챔버 내부의 입자분포에 기초하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 감시진단부를 포함하여 구성되며, 본 발명에 따르면 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 위스 구조를 촬영한 디지털 홀로그래프 영상으로부터 입자분포를 계산하거나 전류패턴을 추출하여 진공 또는 플라즈마 상태를 감시할 수 있다.

대표도 - 도1



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

진공 상태 또는 플라즈마 상태의 챔버 내부를 촬영하여 홀로그램 영상을 생성하는 디지털 홀로그램 센서;
 상기 홀로그램 영상으로부터 상기 챔버 내부의 입자분포를 계산하는 영상처리부; 및
 상기 챔버 내부의 입자분포에 기초하여 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 감시진단부를 포함하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 디지털 홀로그램 센서는 상기 챔버 내부의 쉬스 구조를 촬영하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서, 상기 챔버는 상기 디지털 홀로그램 센서로부터 방출되는 레이저광을 입력받거나 출력시키기 위한 적어도 하나의 창을 구비하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 감시진단부는 상기 진공 상태의 정상 여부를 감시한 후에 상기 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 5

제 1항에 있어서,
 상기 영상처리부는 상기 홀로그램 영상에 하기 제1 수학적식을 적용하여 상기 홀로그램 영상에서 미리 설정된 그레이 스케일 범위에 포함되는 전체 입자수를 계산하는 1-D 입자 카운터를 포함하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

$$N_e = \sum_{i,j \in GR} g_{(i,j)} \times \alpha \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서, GR은 미리 설정된 그레이 스케일 범위, $g_{(i,j)}$ 는 임의의 픽셀 위치에서의 그레이 스케일 값, α 는 상기 디지털 홀로그램 센서에 포함된 CCD 센서 고유의 LSB 당 입자수.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 영상처리부는 상기 홀로그램 영상에 하기 제2 수학적식을 적용하여 상기 챔버 내부 영역에 포함된 전체 입자수를 계산하는 1-D 카운터를 포함하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

$$N_e = \sum_{i,j \in GR} \hat{g}_{(i,j)} \times \alpha \quad \dots\dots\dots (2)$$

여기서, GR은 미리 설정된 그레이 스케일 범위, $\hat{g}_{(i,j)}$ 는 상기 홀로그램 영상의 임의의 픽셀 위치에서의 그레이

스케일 값인 $g_{(i,j)}$ 의 반전된 그레이 스케일 값, a 는 상기 디지털 홀로그래프 센서에 포함된 CCD 센서 고유의 LSB 당 입자수.

청구항 7

제 6항에 있어서, 상기 $\hat{g}_{(i,j)}$ 는 하기 제3 수학식에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

$$(A_i), A_0 = 0, A_{2^n-1} = 2^n - 1, A_{i+1} = A_i + 1$$

$$(B_i), B_0 = 2^n - 1, B_{2^n-1} = 0, B_{i+1} = B_i - 1$$

$$A_i + B_i = 2^n - 1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

여기서, n 은 상기 디지털 홀로그래프 센서에 포함된 CCD 센서의 각 픽셀당 비트, A_i 는 임의의 픽셀 위치에서의 비트 값(즉, 그레이 스케일 값 $g_{(i,j)}$), B_i 는 임의의 픽셀 위치에서 A_i 의 반전된 비트 값(즉, 반전된 그레이 스케일 값 $\hat{g}_{(i,j)}$).

청구항 8

제 5항 내지 제7항에 있어서,

상기 감시진단부는 상기 영상처리부에서 계산된 상기 전체 입자수와 기준입자수의 차이값이 제1 허용기준치 이내이면 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 9

제 2항에 있어서,

상기 영상처리부는 상기 홀로그래프 영상에 하기 제4 수학식을 적용하여 상기 홀로그래프 영상에서 미리 설정된 그레이 스케일 범위에 포함되는 x축 또는 y축 방향으로의 입자분포를 계산하는 2-D 입자 카운터를 포함하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

$$\Delta x_i = x_i - x_{i+1}$$

$$\Delta y_j = y_j - y_{j+1}$$

$$N_i = \sum_{\in \Delta x_i \times n} P_{(i,j)}$$

$$N_j = \sum_{\in \Delta y_j \times m} P_{(i,j)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

여기서, m 과 n 은 상기 홀로그래프 영상의 x축과 y축 방향의 전체 픽셀수, Δx 와 Δy 는 x축과 y축 방향의 구간분리를 위한 변수, N_i 는 x축 방향의 i 번째 위치에서의 입자수, N_j 는 y축 방향의 j 번째 위치에서의 입자수.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 영상처리부는 상기 입자분포를 이용하여 상기 쉬스 구조의 각 층간 두께를 계산하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 감시진단부는 상기 영상처리부에서 계산된 상기 층간 두께와 층간 기준두께의 차이값이 허용두께차 이내이면 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 12

제 9항에 있어서,

상기 영상처리부는 상기 입자분포에 하기 제5 수학적식을 적용하여 상기 쉬스 구조의 각 층간 입자수를 계산하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

$$N = \sum_{j=a}^{j=b} N_j \dots\dots\dots (5)$$

여기서, a와 b는 감시하고자 하는 두 피크의 위치, N_j 는 y축 상에서 두 피크 a,b 사이에 있는 임의의 j번째 위치에서의 입자수.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 감시진단부는 상기 영상처리부에서 계산된 상기 층간 입자수와 층간 기준입자수의 차이값이 제2 허용기준치 이내이면 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 14

제 9항에 있어서,

상기 영상처리부는 상기 입자분포를 z축 방향에 적용하여 3-D 입자분포를 계산하는 3-D 카운터를 포함하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 15

진공 상태 또는 플라즈마 상태인 챔버 내부를 촬영하여 홀로그래프 영상 데이터를 생성하는 디지털 홀로그래프 센서;

상기 홀로그래프 영상 데이터를 이용하여 상기 챔버 내부의 전류패턴을 추출하는 영상처리부; 및

상기 전류패턴에 기초하여 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 감시진단부를 포함하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 16

제 15항에 있어서, 상기 디지털 홀로그래프 센서는 상기 챔버 내부의 쉬스 구조를 촬영하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 17

제 15항에 있어서,

상기 영상처리부는 상기 홀로그래프 영상의 일부 또는 전부로부터 하기 제6 수학식에 따라 전류패턴을 추출하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

$$binary\ value = \begin{cases} 0 & , G_p \in GR \\ 2^n - 1 & , G_p \notin GR \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

여기서, G_p 는 미리 설정된 그레이 스케일 범위에 포함되는 픽셀의 그레이 스케일 값, n 은 상기 디지털 홀로그래프 센서에 포함된 CCD 센서의 각 픽셀당 비트.

청구항 18

제 17항에 있어서,

상기 감시진단부는 상기 영상처리부에서 추출된 전류패턴을 구성하는 특정 픽셀 위치에서의 그레이 스케일 값과 상기 픽셀 위치에서의 기준 그레이 스케일 값의 차이값이 한계허용치 이내이면 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 19

제 18항에 있어서,

상기 감시진단부는 상기 한계허용치를 벗어나는 픽셀의 전체 픽셀에 대한 비율이 기준비율 이하이면 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단하는 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 20

감시제어부가 디지털 홀로그래프 센서로부터 진공 상태의 챔버 내부를 촬영한 제1 홀로그래프 영상을 입력받는 단계;

상기 감시제어부가 상기 제1 홀로그래프 영상으로부터 상기 챔버 내부의 제1 입자분포를 계산하는 단계;

상기 감시제어부가 상기 제1 입자분포에 기초하여 상기 진공 상태의 정상 여부를 판단하는 단계;

상기 진공 상태가 정상인 것으로 판단되면, 상기 감시제어부가 디지털 홀로그래프 센서로부터 플라즈마 상태의 챔버 내부를 촬영한 제2 홀로그래프 영상을 입력받는 단계;

상기 감시제어부가 상기 제2 홀로그래프 영상으로부터 상기 챔버 내부의 제2 입자분포를 계산하는 단계; 및

상기 감시제어부가 상기 제2 입자분포에 기초하여 상기 플라즈마 상태의 정상 여부를 판단하는 단계를 포함하는 진공플라즈마 감시방법.

청구항 21

감시제어부가 디지털 홀로그래프 센서로부터 진공 상태의 챔버 내부를 촬영한 제1 홀로그래프 영상을 입력받는 단계;

상기 감시제어부가 상기 제1 홀로그래프 영상으로부터 제1 전류패턴을 추출하는 단계;

상기 감시제어부가 상기 제1 전류패턴에 기초하여 상기 진공 상태의 정상 여부를 판단하는 단계;

상기 진공 상태가 정상인 것으로 판단되면, 상기 감시제어부가 디지털 홀로그래프 센서로부터 플라즈마 상태의 챔버 내부를 촬영한 제2 홀로그래프 영상을 입력받는 단계;

상기 감시제어부가 상기 제2 홀로그래프 영상으로부터 상기 챔버 내부의 제2 전류패턴을 추출하는 단계; 및

상기 감시제어부가 상기 제2 전류패턴에 기초하여 상기 플라즈마 상태의 정상 여부를 판단하는 단계를 포함하는 진공플라즈마 감시시스템.

청구항 22

제 20항 또는 제 21항에 있어서,

상기 제1 홀로그래프 영상 및 제2 홀로그래프 영상은 상기 챔버 내부의 쉬스 구조를 촬영한 영상인 것을 특징으로 하는 진공플라즈마 감시시스템.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 진공플라즈마 감시시스템 및 그 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 디지털 홀로그래프 영상기술을 이용하여 챔버 내부의 진공플라즈마 쉬스(sheath) 구조와 그 입자분포를 측정하고 이에 기초하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감지할 수 있는 진공플라즈마 감시시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 플라즈마는 반도체 및 디스플레이 소자 제조를 위한 미세 박막의 증착과 식각공정에 핵심적으로 응용되는 에너지원이다. 플라즈마 제조에는 다양한 공정 및 장비변수가 관여하며, 공정변수에는 무선 주파수(Radio Frequency; RF) 소스 전력, 바이어스 전력, 압력, 가스 유량 등이 있다.

[0003] 플라즈마의 이상(Anomaly) 상태를 탐지하지 못할 경우, 공정과 소자수율이 크게 저하되기 때문에 플라즈마 상태의 정상 여부를 판단하는 시스템의 개발이 요구된다.

[0004] 플라즈마의 상태를 감시하는 센서로는 광방사분광기(Optical Emission Spectroscopy; OES), 랑뮤어 프로브(Langmuir Probe; LP), 색변이 감시시스템(Color Monitoring System; CMS), 전류-전압 프로브(I-V Probe) 등이 있다. 이 중 광방사분광기(OES)가 가장 광범위하게 응용되며, 입사되는 광의 반사 강도를 측정하여 플라즈마 상태를 판단할 수 있다.

[0005] 랑뮤어 프로브(LP)는 플라즈마의 기본 특성변수인 전자밀도, 플라즈마 전위를 측정하고, 색변이 감시시스템(CMS)은 플라즈마 색 변이를 측정하며, 전류-전압 프로브(I-V probe)는 플라즈마 전류와 전압의 변이를 측정하여 플라즈마 상태를 감시한다.

[0006] 진공 상태와 플라즈마 상태에서의 전자밀도는 주로 랑뮤어 프로브(LP)를 이용하여 측정하며, 플라즈마 상태의 감시를 위해 비침투식(non-intrusive) 랑뮤어 프로브(LP) 센서가 적용되고 있다.

[0007] 하지만, 랑뮤어 프로브(LP) 센서는 플라즈마의 평균 전자밀도만을 측정하기 때문에 챔버 내 임의의 위치에서의 전자분포를 측정하지 못하는 한계점이 있다.

[0008] 또한, 랑뮤어 프로브(LP) 센서는 플라즈마 발생 전 진공 내 입자의 전하에 대한 정보를 제공하지 못하는 한계점을 가진다.

- [0009] 전자밀도는 진공과 플라즈마에서 챔버의 공간적 위치에 따라 다른 분포를 가지고 있으며, 공정변수에 따라 변화한다. 모든 공정변수에 대해 또는 특정 공정변수에 대해 민감도가 높은 위치에서의 전자분포의 측정이 요구되는 실정이다.
- [0010] 플라즈마의 상태 감시를 위한 정보는 주로 챔버의 중앙부로부터 반사되는 반사광 정보에 의존하고 있으며, 챔버 하단 쪽의 웨이퍼 근방의 정보를 이용하지 못하고 있는 실정이다. 이는 현재 이용되는 센서의 물리적 접근 한계에 기인한다.
- [0011] 또한, 현재의 플라즈마 감시시스템은 플라즈마를 발생시킨 후의 플라즈마 상태 감시에 국한되고 있으며, 플라즈마가 발생되기 전인 진공 상태에 대한 감시기능을 수행하지 못하고 있다.
- [0012] 하지만, 웨이퍼는 플라즈마가 발생되기 전부터 챔버 내에 놓여 있기 때문에 플라즈마 공정이 시작되기 전의 진공 상태를 감시하는 것은 공정의 질(quality)을 높이기 위해 반드시 필요하다 할 것이다. 또한, 진공 상태는 이어지는 플라즈마 상태에 대해 기준 상태가 될 수 있기 때문에 플라즈마 상태 감시에 중요한 역할을 수행할 수 있다.
- [0013] 한편, 챔버 하단부에는 공정개발과 분석에 중대한 물리적 영향을 미치는 쉬스 구조가 존재한다.
- [0014] 쉬스(Sheath)는 벌크 플라즈마(bulk plasma) 영역에 비해 전자밀도가 상대적으로 적은 영역이며, 상대적으로 전자밀도가 높은 프리쉬스(presheath) 층에 접해있다. 쉬스와 프리쉬스의 전자밀도의 공간적 구조는 공정변수에 따라 민감하게 변하기 때문에 쉬스 구조의 변화를 이용하여 플라즈마 상태를 감시할 필요성이 요청된다.
- [0015] 본 발명의 배경기술은 대한민국 특허공개공보 제10-2005-0027668호 '필스 플라즈마 특성 변수 측정용 진단 시스템 및 방법' (2005.03.21)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0016] 본 발명은 전술한 문제점을 개선하기 위해 창안된 것으로서, 진공 또는 플라즈마 상태에서 챔버 내부의 쉬스 구조 및 그 입자분포를 측정하여 진공 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시할 수 있도록 하는 진공플라즈마 감시시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0017] 또한, 본 발명은 플라즈마 상태와 플라즈마가 발생되기 전 진공 상태를 함께 감시하여 플라즈마 상태 감시의 정확도를 높이고 이에 따라 플라즈마 공정의 질을 향상시킬 수 있도록 하는 진공플라즈마 감시방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0018]

과제의 해결 수단

- [0019] 본 발명의 일 측면에 따른 진공플라즈마 감시시스템은 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 챔버 내부를 촬영하여 홀로그램 영상을 생성하는 디지털 홀로그램 센서; 상기 홀로그램 영상으로부터 상기 챔버 내부의 입자분포를 계산하는 영상처리부; 및 상기 챔버 내부의 입자분포에 기초하여 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 감시진단부를 포함한다.
- [0020] 본 발명에서 디지털 홀로그램 센서는 상기 챔버 내부의 쉬스 구조를 촬영할 수 있다.
- [0021] 본 발명에서 챔버는 상기 디지털 홀로그램 센서로부터 방출되는 레이저광을 입력받거나 출력시키기 위한 적어도 하나의 창을 구비할 수 있다.
- [0022] 본 발명에서 감시진단부는 상기 진공 상태의 정상 여부를 감시한 후에 상기 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시할 수 있다.
- [0023] 본 발명에서 영상처리부는 상기 홀로그램 영상에 하기 제1 수학적식을 적용하여 상기 홀로그램 영상에서 미리 설정된 그레이 스케일 범위에 포함되는 전체 입자수를 계산하는 1-D 입자 카운터를 포함할 수 있다.

[0024]
$$N_e = \sum_{(i,j) \in GR} g_{(i,j)} \times \alpha \dots\dots\dots (1)$$

[0025] 여기서, GR은 미리 설정된 그레이 스케일 범위, $g_{(i,j)}$ 는 임의의 픽셀 위치에서의 그레이 스케일 값, α 는 상기 디지털 홀로그래프 센서에 포함된 CCD 센서 고유의 LSB 당 입자수.

[0026] 본 발명에서 영상처리부는 상기 홀로그래프 영상에 하기 제2 수학적식을 적용하여 상기 챔버 내부 영역에 포함된 전체 입자수를 계산하는 1-D 카운터를 포함할 수 있다.

[0027]
$$N_e = \sum_{(i,j) \in GR} \hat{g}_{(i,j)} \times \alpha \dots\dots\dots (2)$$

[0028] 여기서, GR은 미리 설정된 그레이 스케일 범위, $\hat{g}_{(i,j)}$ 는 상기 홀로그래프 영상의 임의의 픽셀 위치에서의 그레이 스케일 값인 $g_{(i,j)}$ 의 반전된 그레이 스케일 값, α 는 상기 디지털 홀로그래프 센서에 포함된 CCD 센서 고유의 LSB 당 입자수.

[0029] 본 발명에서 $\hat{g}_{(i,j)}$ 는 하기 제3 수학적식에 의해 결정될 수 있다.

$$(A_i), A_0 = 0, A_{2^n-1} = 2^n - 1, A_{i+1} = A_i + 1$$

$$(B_i), B_0 = 2^n - 1, B_{2^n-1} = 0, B_{i+1} = B_i - 1$$

[0030]
$$A_i + B_i = 2^n - 1 \dots\dots\dots (3)$$

[0031] 여기서, n은 상기 디지털 홀로그래프 센서에 포함된 CCD 센서의 각 픽셀당 비트, A_i 는 임의의 픽셀 위치에서의 비트 값(즉, 그레이 스케일 값 $g_{(i,j)}$), B_i 는 임의의 픽셀 위치에서 A_i 의 반전된 비트 값(즉, 반전된 그레이 스케일 값 $\hat{g}_{(i,j)}$).

[0032] 본 발명에서 감시진단부는 상기 영상처리부에서 계산된 상기 전체 입자수와 기준입자수의 차이값이 제1 허용기준치 이내이면 상기 진공 상태 또는 플라스마 상태가 정상인 것으로 판단할 수 있다.

[0033] 본 발명에서 상기 영상처리부는 상기 홀로그래프 영상에 하기 제4 수학적식을 적용하여 상기 홀로그래프 영상에서 미리 설정된 그레이 스케일 범위에 포함되는 x축 또는 y축 방향으로의 입자분포를 계산하는 2-D 입자 카운터를 포함할 수 있다.

$$\Delta x_i = x_i - x_{i+1}$$

$$\Delta y_j = y_j - y_{j+1}$$

$$N_i = \sum_{(i,j) \in \Delta x_i \times n} P_{(i,j)}$$

[0034]
$$N_j = \sum_{(i,j) \in \Delta y_j \times m} P_{(i,j)} \dots\dots\dots (4)$$

[0035] 여기서, m과 n은 상기 홀로그래프 영상의 x축과 y축 방향의 전체 픽셀수, Δx 와 Δy 는 x축과 y축 방향의 구간분리를 위한 변수, N_i 는 x축 방향의 i번째 위치에서의 입자수, N_j 는 y축 방향의 j번째 위치에서의 입자수.

[0036] 본 발명에서 영상처리부는 상기 입자분포를 이용하여 상기 스위스 구조의 각 층간 두께를 계산할 수 있다.

[0037] 본 발명에서 감시진단부는 상기 영상처리부에서 계산된 상기 층간 두께와 층간 기준두께의 차이값이 허용두께차 이내이면 상기 진공 상태 또는 플라스마 상태가 정상인 것으로 판단할 수 있다.

[0038] 본 발명에서 영상처리부는 상기 입자분포에 하기 제5 수학적식을 적용하여 상기 쉬스 구조의 각 층간 입자수를 계산할 수 있다.

[0039]
$$N = \sum_{j=a}^{j=b} N_j \dots\dots\dots (5)$$

[0040] 여기서, a와 b는 감시하고자 하는 두 피크의 위치, N_j 는 y축 상에서 두 피크 a,b 사이에 있는 임의의 j번째 위치에서의 입자수.

[0041] 본 발명에서 감시진단부는 상기 영상처리부에서 계산된 상기 층간 입자수와 층간 기준입자수의 차이값이 제2 허용기준치 이내이면 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단할 수 있다.

[0042] 본 발명에서 영상처리부는 상기 입자분포를 z축 방향에 적용하여 3-D 입자분포를 계산하는 3-D 카운터를 포함할 수 있다.

[0043] 본 발명의 다른 측면에 따른 진공플라즈마 감시시스템은 진공 상태 또는 플라즈마 상태인 챔버 내부를 촬영하여 홀로그램 영상 데이터를 생성하는 디지털 홀로그램 센서; 상기 홀로그램 영상 데이터를 이용하여 상기 챔버 내부의 전류패턴을 추출하는 영상처리부; 및 상기 전류패턴에 기초하여 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 감시진단부를 포함한다.

[0044] 본 발명에서 디지털 홀로그램 센서는 상기 챔버 내부의 쉬스 구조를 촬영할 수 있다.

[0045] 본 발명에서 영상처리부는 상기 홀로그램 영상의 일부 또는 전부로부터 하기 제6 수학적식에 따라 전류패턴을 추출할 수 있다.

[0046]
$$\text{binary value} = \begin{cases} 0 & , G_p \in GR \\ 2^n - 1 & , G_p \notin GR \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

[0047] 여기서, G_p 는 미리 설정된 그레이 스케일 범위에 포함되는 픽셀의 그레이 스케일 값, n은 상기 디지털 홀로그램 센서에 포함된 CCD 센서의 각 픽셀당 비트.

[0048] 본 발명에서 감시진단부는 상기 영상처리부에서 추출된 전류패턴을 구성하는 특정 픽셀 위치에서의 그레이 스케일 값과 상기 픽셀 위치에서의 기준 그레이 스케일 값의 차이값이 한계허용치 이내이면 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단할 수 있다.

[0049] 본 발명에서 감시진단부는 상기 한계허용치를 벗어나는 픽셀의 전체 픽셀에 대한 비율이 기준비율 이하이면 상기 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단할 수 있다.

[0050] 본 발명의 일 측면에 따른 진공플라즈마 감시방법은 감시제어부가 디지털 홀로그램 센서로부터 진공 상태의 챔버 내부를 촬영한 제1 홀로그램 영상을 입력받는 단계; 상기 감시제어부가 상기 제1 홀로그램 영상으로부터 상기 챔버 내부의 제1 입자분포를 계산하는 단계; 상기 감시제어부가 상기 제1 입자분포에 기초하여 상기 진공 상태의 정상 여부를 판단하는 단계; 상기 진공 상태가 정상인 것으로 판단되면, 상기 감시제어부가 디지털 홀로그램 센서로부터 플라즈마 상태의 챔버 내부를 촬영한 제2 홀로그램 영상을 입력받는 단계; 상기 감시제어부가 상기 제2 홀로그램 영상으로부터 상기 챔버 내부의 제2 입자분포를 계산하는 단계; 및 상기 감시제어부가 상기 제2 입자분포에 기초하여 상기 플라즈마 상태의 정상 여부를 판단하는 단계를 포함한다.

[0051] 본 발명의 다른 측면에 따른 진공플라즈마 감시방법은 감시제어부가 디지털 홀로그램 센서로부터 진공 상태의 챔버 내부를 촬영한 제1 홀로그램 영상을 입력받는 단계; 상기 감시제어부가 상기 제1 홀로그램 영상으로부터 제1 전류패턴을 추출하는 단계; 상기 감시제어부가 상기 제1 전류패턴에 기초하여 상기 진공 상태의 정상 여부를 판단하는 단계; 상기 진공 상태가 정상인 것으로 판단되면, 상기 감시제어부가 디지털 홀로그램 센서로부터 플라즈마 상태의 챔버 내부를 촬영한 제2 홀로그램 영상을 입력받는 단계; 상기 감시제어부가 상기 제2 홀로그램 영상으로부터 상기 챔버 내부의 제2 전류패턴을 추출하는 단계; 및 상기 감시제어부가 상기 제2 전류패턴에 기초하여 상기 플라즈마 상태의 정상 여부를 판단하는 단계를 포함한다.

[0052] 본 발명에서 제1 홀로그램 영상 및 제2 홀로그램 영상은 상기 챔버 내부의 쉬스 구조를 촬영한 영상일 수 있다.

발명의 효과

- [0053] 본 발명에 따르면, 진공 상태 또는 플라스마 상태의 챔버 내부를 촬영한 디지털 홀로그래프 영상으로부터 챔버 내부의 입자분포를 계산하거나 전류패턴을 추출하여 진공 상태 또는 플라스마 상태를 감시할 수 있다.
- [0054] 특히, 본 발명에 따르면 공정조건에 따라 민감하게 변화하는 챔버 내부의 쉬스 구조 및 웨이퍼 근방의 입자분포의 변화를 감시할 수 있기 때문에, 플라스마 상태 감시의 정확도를 높일 수 있고 이에 따라 플라스마 공정의 질을 높일 수 있다.
- [0055] 또한, 본 발명에 따르면, 플라스마가 발생되기 전의 진공 상태를 먼저 감시한 후에 플라스마 상태를 감시함으로써, 진공 상태를 기준으로 플라스마 상태의 정상 여부를 감시할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0056] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템의 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템의 일 예를 도시한 블록도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템에서 영상처리부를 도시한 블록도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템의 디지털 홀로그래프 센서를 이용하여 쉬스 구조를 촬영한 예시도이다.
- 도 5는 도 4에서 프리쉬스 층의 일부를 확대한 예시도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템의 디지털 홀로그래프 센서에 의해 촬영된 영상으로부터 2-D 입자분포를 도시한 예시도이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템에의 디지털 홀로그래프 센서에 의해 촬영된 영상으로부터 전류패턴을 추출한 예시도이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시방법의 동작 흐름을 도시한 순서도이다.
- 도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 진공플라스마 감시방법의 동작 흐름을 도시한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0057] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템 및 그 방법을 첨부된 도면들을 참조하여 상세하게 설명한다. 이러한 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다. 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로써, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0058] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템의 블록도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템의 일 예를 도시한 블록도이며, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템에서 영상처리부를 도시한 블록도이다.
- [0059] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템은 디지털 홀로그래프 센서(20), 감시제어부(100) 및 출력부(50)를 포함하며, 감시제어부(100)는 영상처리부(30) 및 감시진단부(40)를 포함한다.
- [0060] 챔버(10)는 반도체 공정을 수행하기 위하여 마련되는 공간으로서, 웨이퍼가 안착되는 척(미도시)을 구비하며, 챔버(10)의 내부는 수행되는 반도체 공정에 따라 진공 상태 또는 플라스마 상태일 수 있다.
- [0061] 도 2에 도시된 바와 같이, 챔버(10)는 척 또는 웨이퍼 부근의 쉬스 구조 촬영을 위해 적어도 하나의 창(window)을 구비할 수 있다.
- [0062] 구체적으로, 챔버(10)는 후술할 디지털 홀로그래프 센서(20)로부터 조사되는 레이저광을 입력받거나 출력시키기 위한 적어도 하나의 창을 구비할 수 있다.
- [0063] 예를 들어, 디지털 홀로그래프 센서(20)가 Off-axis 방식으로 홀로그래프 영상을 촬영하는 경우, 챔버(10)는 레이저

광을 챔버(10) 내부로 받아들이기 위한 창(12)과 챔버(10) 외부로 내보내기 위한 창(11)을 구비할 수 있다.

[0064] 반면, 디지털 홀로그래프 센서(20)가 On-axis 방식으로 홀로그래프 영상을 촬영하는 경우, 챔버(10)는 레이저광을 챔버(10) 내부로 받아들이고, 반사된 광을 챔버(10) 외부로 내보내기 위한 하나의 창을 구비할 수 있다.

[0065] 이러한 창은 챔버(10) 내부의 척 또는 웨이퍼 부근을 촬영할 수 있는 적절한 위치에 다양한 크기로 구비될 수 있다.

[0066] 디지털 홀로그래프 센서(20)는 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 챔버(10) 내부를 촬영하여 홀로그래프 영상을 생성한다.

[0067] 이러한 디지털 홀로그래프 센서(20)는 레이저광을 챔버(10) 내부로 조사하는 광원(21), 광원(21)으로부터 조사되는 레이저광의 빔 폭을 확장시키는 빔 확장기(23) 및 챔버(10) 내부의 입자에 의해 반사된 빛이 저장되는 CCD(Charge-Coupled Device) 센서(25)를 포함할 수 있다.

[0068] 이때, 기준광은 빔 확장기(23)를 통해 챔버(10)에 입사되는 광을 의미하고, 물체광은 챔버(10) 내부의 입자에 의해 반사되는 광을 의미하며, 물체광에는 3차원 영상이 홀로그래프 형태로 포함되어 있다.

[0069] 이러한 기준광과 물체광 사이에는 간섭 패턴이 형성되며, 이는 아래의 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 1

$$I_o = |R|^2 + |O|^2 + RO^* + R^*O$$

[0071] 여기서 R은 기준광, O는 물체광을 의미하며, R^* 와 O^* 는 각각 기준광과 물체광의 켤레 복소수를 의미한다.

[0072] CCD 센서(25)로 전달되는 기준광과 물체광의 간섭 패턴은 2차원 홀로그래프 영상으로 되어 있으며, CCD 센서(25)는 간섭 패턴을 전기 신호로 변환하여 감시제어부(100)의 영상처리부(30)로 전달한다.

[0073] 감시제어부(100)는 디지털 홀로그래프 센서(20)로부터 입력되는 홀로그래프 영상을 이용하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태를 감시하며, 영상처리부(30) 및 감시진단부(40)를 포함한다.

[0074] 먼저, 영상처리부(30)는 영상복원기(39)를 구비하여 디지털 홀로그래프 센서(20)로부터 입력되는 홀로그래프 영상을 복원한다.

[0075] 구체적으로, 영상처리부(30)의 영상복원기(39)는 CCD 센서(25)로부터 전달되는 전기 신호를 디지털 신호 처리하여 3차원 홀로그래프 영상을 수치적 방법으로 복원할 수 있다. 이러한 수치적 복원 방법은 아래의 수학적 식 2로 표현될 수 있다.

수학적 식 2

$$I_r = I_o * h_z$$

[0077] 여기서 '*'는 컨볼루션(convolution) 연산자이고, h_z 는 깊이 방향 좌표 z에서 자유공간 임펄스 응답함수이며, I_z 는 깊이 방향 좌표 z에 복원된 물체의 영상을 의미한다.

[0078] 전술한 수학적 식 2에 따른 수치적 복원은 홀로그래프에 기준광을 입사시켜 물체의 3차원 영상을 복원하는 광학적 방법의 홀로그래프 복원에 대응하는 수치적 연산 방법으로서, 회절 이론을 이용한 디지털 뒤 전파(back propagation)에 대응하며 프레셀 변환(Fresnel transformation)을 이용할 수 있다.

[0079] 이후, 영상처리부(30)는 복원된 홀로그래프 영상으로부터 챔버(10) 내부의 입자분포를 계산할 수 있고, 복원된 홀로그래프 영상으로부터 전류패턴을 추출할 수 있다.

[0080] 이를 위해 영상처리부(30)는 도 3에 도시된 바와 같이, 챔버(10) 내부의 입자분포를 계산하는 1-D 입자 카운터(31), 2-D 입자 카운터(33), 3-D 입자 카운터(35) 및 챔버(10) 내부의 전류패턴을 추출하는 전류패턴 추출기(37) 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.

- [0081] 영상처리부(30)가 1-D 입자 카운터(31), 2-D 입자 카운터(33), 3-D 입자 카운터(35)를 이용하여 챔버(10) 내부의 입자분포를 계산하는 과정과 전류패턴 추출기(37)를 이용하여 챔버(10) 내부의 전류패턴을 추출하는 구체적인 과정에 대해서는 후술한다.
- [0082] 감시진단부(40)는 영상처리부(30)로부터 제공되는 챔버(10) 내부의 입자분포 또는 전류패턴에 기초하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인지 여부를 감시한다.
- [0083] 이때, 감시진단부(40)는 챔버(10) 내부의 입자분포 또는 전류패턴을 정상상태의 입자분포 또는 정상상태의 전류패턴과 비교하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인지 여부를 감시할 수 있다.
- [0084] 출력부(50)는 감시진단부(40)에 의해 판단된 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 출력한다. 이러한 출력부(50)는 램프(미도시) 또는 디스플레이 패널(미도시)을 구비하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 표시할 수 있다.
- [0085] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라즈마 감시시스템의 디지털 홀로그래프 센서를 이용하여 쉬스 구조를 촬영한 예시도이고, 도 5는 도 4에서 프리쉬스 층(B층)의 일부를 확대한 예시도이다.
- [0086] 도 4의 (A)와 (B)는 각각 디지털 홀로그래프 센서(20)를 이용하여 진공 상태 및 플라즈마 상태의 쉬스 구조를 촬영한 예시도이다.
- [0087] 도 4를 참조하면, 밝은 색의 A층은 입자밀도가 낮은 쉬스 층, 어두운 색의 B층은 입자밀도가 높은 프리쉬스 층임을 확인할 수 있다.
- [0088] 아울러, 도 4를 참조하면, 진공 상태의 쉬스 구조와 플라즈마 상태의 쉬스 구조가 유사함을 확인할 수 있고, 플라즈마 상태의 쉬스 구조가 진공 상태의 쉬스구조로부터 도출될 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0089] 또한, 도 4와 도 5에서 어두운 색으로 표시된 검은 입자들은 전기적으로 음의 전하를 가지고 있다는 것이 이미 실험적으로 확인되었다.
- [0090] 도 5를 참조하면, 진공 또는 플라즈마 공간은 검은 입자로 채워져 있으며 이러한 검은 입자들은 서로 연결되어 원 또는 필라멘트를 형성하고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 진공 또는 플라즈마에 공통적으로 적용될 수 있는 음의 전하는 전자이기 때문에 이러한 검은 입자는 전자라고 가정할 수 있다.
- [0091] 이하, 영상처리부(30)가 1-D 입자 카운터(31)를 이용하여 도 4와 도 5에 도시된 영상으로부터 입자수를 계산하는 과정 및 감시진단부(40)가 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 과정을 구체적으로 설명한다.
- [0092] 도 5에 도시된 영상에서 입자수(N)는 임의의 그레이 스케일 범위(GR; Gray Scale Range)에 대해서 아래의 수식 3에 의해 픽셀(pixel) 단위로 계산될 수 있다.

수학식 3

$$N = \sum_{i,j \in GR} P_{(i,j)}$$

- [0093]
- [0094] 여기서, GR은 미리 설정되는 임의의 그레이 스케일 범위를 의미하며, 어두운 색의 입자수를 계산하기 위해서 낮은 값의 범위로 설정되는 것이 바람직하다.
- [0095] 영상의 각 픽셀은 비트 값(그레이 스케일 값)에 따라 다른 색을 가지기 때문에, 이를 이용하여 홀로그래프 영상으로부터 임의의 그레이 스케일 범위에 해당하는 입자수를 계산할 수 있다.
- [0096] 이때, 각 픽셀에서의 LSB(Least Significant bit)는 테스트 과정을 거쳐서 결정되며, 테스트 과정은 카메라를 제조하는 회사에서 일반적으로 행해지는 방식이므로 그 자세한 설명은 생략한다.
- [0097] 예를 들어, CCD 센서(25)의 각 픽셀이 8비트인 경우, 각 LSB는 178.7(~179)개의 입자를 포함할 수 있다. 만약,

CCD 센서(25)의 각 픽셀이 12비트인 경우 각 LSB는 10개의 입자를 포함할 수 있다.

[0098] CCD 센서(25)의 각 픽셀이 8비트인 경우, 각 픽셀은 0-255의 그레이 스케일 값으로 표현될 수 있으며, 이러한 그레이 스케일 값에 전술한 178.7(~179)를 곱하면 해당 픽셀에서의 입자수를 계산할 수 있다. 즉, 각 픽셀의 입자수는 아래의 수학적식 4로 계산될 수 있다.

수학적식 4

$$N_e(i,j) = g_{(i,j)} \times \alpha$$

[0100] 여기서 $g_{(i,j)}$ 는 임의의 (i,j) 픽셀 위치에서의 그레이 스케일 값이고 α 는 CCD 센서(25) 고유의 LSB당 입자수를 의미한다. 따라서, 임의의 그레이 스케일 범위에 포함되는 입자수는 아래의 수학적식 5로 계산될 수 있다.

수학적식 5

$$N_e = \sum_{i \in GR} g_{(i,j)} \times \alpha$$

[0102] 한편, CCD 센서(25)로부터 전달되는 영상에서 입자수는 그레이 스케일 값이 높을 수록 많아진다.

[0103] 그러나, CCD 센서(25)에 의해 촬영된 객체 영역(즉, 챔버 내부)에서의 입자수는 이와 반대가 된다. 즉, CCD 센서(25)에서 어둡게 표시된 부분에 대응되는 객체 영역에는 많은 입자가 존재하고 있다는 것이므로 객체 영역에서의 그레이 스케일 값은 CCD 센서(25)의 그레이 스케일 값과 반전된 값을 이용하여야 한다.

[0104] 따라서, 객체 영역에 대한 각 픽셀의 입자수는 아래의 수학적식 6과 같이 계산될 수 있다.

수학적식 6

$$N_e(i,j) = \hat{g}_{(i,j)} \times \alpha$$

[0106] 여기서 $\hat{g}_{(i,j)}$ 은 $g_{(i,j)}$ 의 반전된 그레이 스케일 값을 의미한다. 그레이 스케일 값이 반전되었다는 의미는 아래의 수학적식 7에 의해 정의될 수 있다.

[0107] 즉, g 의 그레이 스케일 값은 수학적식 7의 (1)과 같이 정렬되고, $\hat{g}$ 의 그레이 스케일 값은 수학적식 7의 (2)와 같이 정렬되며, (1)과 (2)의 관계는 (3)으로 표현될 수 있다.

수학적식 7

$$(A_i), A_0 = 0, A_{2^n-1} = 2^n - 1, A_{i+1} = A_i + 1 \dots\dots (1)$$

$$(B_i), B_0 = 2^n - 1, B_{2^n-1} = 0, B_{i+1} = B_i - 1 \dots\dots (2)$$

$$A_i + B_i = 2^n - 1 \dots\dots (3)$$

[0109] 여기서, n 은 디지털 홀로그래프 센서(20)에 포함된 CCD 센서(25)의 각 픽셀당 비트를 의미하고, A_i 는 임의의 (i,j) 픽셀 위치에서의 비트 값(즉, 그레이 스케일 값)을 의미하며, 상술한 수학적식 4의 $g_{(i,j)}$ 값을 의미한다. 마찬가지로, B_i 는 임의의 (i,j) 픽셀 위치에서 A_i 의 반전된 비트 값(즉, 그레이 스케일 값)을 의미하며, 상술한 수

학식 6의 $\hat{g}_{(i,j)}$ 값을 의미한다.

[0110] 예를 들어, CCD 센서(25)의 각 픽셀이 8비트인 경우, g 의 그레이 스케일 값은 0에서 255까지 1 간격으로 증가하며 정렬되고, $\hat{g}$ 의 그레이 스케일 값은 255에서 0까지 1 간격으로 감소하며 정렬된다.

[0111] 즉, CCD 센서(25)에서 임의의 픽셀의 입자수는 수학적 4에 의해 계산되고, 촬영된 객체 영역에 대한 임의의 픽셀의 입자수는 수학적 6과 같이 변환된 그레이 스케일 값을 이용하여 계산될 수 있다.

[0112] 한편, 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 챔버(10) 내부의 입자 정보는 CCD 센서(25)를 이용하여 촬영되는 것이 일반적이다. 하지만, CCD 센서(25) 외에 디지털 카메라나 웹 카메라 등 기타 다양한 촬영장치를 이용할 수 있으며, 이 경우에도 촬영된 영상으로부터 입자수를 계산할 수 있다. 다만, LSB당 입자수는 별도의 과정을 거쳐서 결정될 것이다.

[0113] 정리하면, 영상처리부(30)는 임의의 그레이 스케일 범위(GR)에 대해서 객체 영역에 분포하는 즉, 챔버(10) 내에 분포하는 입자수를 아래의 수학적 8을 이용하여 계산할 수 있다.

수학적 8

$$N_e = \sum_{\in GR} \hat{g}_{(i,j)} \times \alpha$$

[0114]

[0115] 이후, 감지진단부(40)는 영상처리부(30)에서 계산한 입자수에 기초하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 판단한다.

[0116] 이때, 감지진단부(40)는 영상처리부(30)에서 계산한 입자수를 아래의 수학적 9와 같이 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서의 기준입자수와 비교하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 확인할 수 있다.

수학적 9

$$|N_e^r - N_e| < T_{1n}$$

[0117]

[0118] 여기서, N_e^r 는 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서 계산되는 기준입자수를 의미하고, N_e 는 영상처리부(30)에서 계산된 입자수를 의미하며, T_{1n} 은 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단할 수 있는 제1 허용기준치를 의미한다.

[0119] 또한, 제1 허용기준치(T_{1n})는 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서 측정되는 입자수의 평균과 표준편차를 이용하여 설정될 수 있다.

[0120] 즉, 감지진단부(40)는 영상처리부(30)에서 계산된 입자수와 정상적인 상태에서의 기준입자수를 비교하여 그 차이값이 제1 허용기준치 이내이면 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단하고, 제1 허용기준치를 벗어나면 정상이 아닌 것으로 판단한다.

[0121] 이어서, 감지진단부(40)는 출력부(50)를 제어하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 표시할 수 있다.

[0122] 한편, 수학적 9에서 N_e 와 N_e^r 대신에 수학적 3의 N 과 N^r 을 이용할 수도 있다.

[0123] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라즈마 감시시스템의 디지털 홀로그래프 센서에 의해 촬영된 영상으로부터 2-D 입자분포를 도시한 예시도이다.

[0124] 이하, 영상처리부(30)가 2-D 입자 카운터(33)를 이용하여 입자분포를 계산하는 과정 및 감지진단부(40)가 진공

상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 과정을 도 6을 참조하여 설명한다.

- [0125] 영상처리부(30)는 디지털 홀로그래프 센서(20)에 의해 촬영된 홀로그래프 영상으로부터 x축 또는 y축 방향으로의 입자분포를 아래의 수학식 10을 이용하여 계산할 수 있다.

수학식 10

$$\Delta x_i = x_i - x_{i+1}$$

$$\Delta y_j = y_j - y_{j+1}$$

$$N_i = \sum_{\in \Delta x_i \times n} P_{(i,j)}$$

$$N_j = \sum_{\in \Delta y_j \times m} P_{(i,j)}$$

[0126]

- [0127] 이때, 임의의 영상의 크기는 $m \times n$ (pixels)로 표현되고, m과 n은 각각 x축과 y축 방향의 전체 픽셀 수를 의미한다. 또한, Δx 와 Δy 는 x축과 y축 방향의 구간분리를 위한 변수에 해당한다.

- [0128] x축 방향으로 입자수를 계산할 경우, x축상의 i번째 위치에서 입자수 계산을 위한 영상크기는 $\Delta x_i \times n$ 으로 결정되어 주어진 그레이 스케일 범위(GR)에 포함되는 입자수를 계산할 수 있으며, 이는 N_i 로 표현된다.

- [0129] y축 방향의 임의의 j번째 위치에서의 입자수를 동일한 방식으로 계산할 수 있으며, 이는 N_j 로 표현된다.

- [0130] 이와 같이 수학식 10을 이용하면, 임의의 (i, j) 픽셀 위치에서의 2-D 입자분포를 계산할 수 있다.

- [0131] 도 6에는 도 4의 (A)에 도시된 진공 상태의 쉬스 구조 영상에 수학식 10을 적용하여 계산한 2-D 입자분포가 도시되어 있다. 도 6은 y축 방향으로 '0-100'의 그레이 스케일 범위(GR)에 대해서 Δy 를 '1'로 고정한 상태에서 계산된 입자분포이다. 여기서, 입자수 분포 계산을 위한 그레이 스케일 범위(GR)와 $\Delta x, \Delta y$ 의 크기는 임의로 설정될 수 있다.

- [0132] 도 6에는 각 층의 피크(peak)가 'a, b, c, d'로 표기되어 있으며, 척 또는 웨이퍼의 부근의 위치가 'e'로 표기되어 있다. 각 층의 층간 두께와 층간 입자수는 공정조건에 따라 다양하게 변화되며, 이를 플라즈마 감시에 활용할 수 있다.

- [0133] 감시진단부(40)는 영상처리부(30)에서 계산한 입자분포에 기초하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 판단한다.

- [0134] 이때, 감시진단부(40)는 아래의 수학식 11과 같이 영상처리부(30)에서 계산한 입자분포를 이용하여 측정되는 임의의 층간 두께를 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서의 층간 기준두께와 비교하여 그 차이값이 허용두께차 이내인지 여부에 따라 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시할 수 있다.

- [0135] 즉, 감시진단부(40)는 영상처리부(30)에서 계산되는 층간 두께를 정상적인 상태에서의 층간 기준두께와 비교하여 그 차이값이 허용두께차 이내이면 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단하고, 허용두께차를 벗어나면 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상이 아닌 것으로 판단한다.

수학식 11

$$|D^r - D| < T_d$$

[0136]

- [0137] 여기서 D^r 은 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서 임의의 피크 간(b와 c, a와 b, a와 f 등) 층간 기준두께를 의미하고, D는 영상처리부(30)에서 계산한 입자분포를 이용하여 측정되는 임의의 피크 간 층간 두께를 의

미하며, T_d 는 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단할 수 있는 허용두께차를 의미한다.

[0138] 또한, 허용두께차(T_d)는 전술한 제1 허용기준치(T_{1n})와 마찬가지로 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서 측정되는 입자수의 평균과 표준편차를 이용하여 설정될 수 있고, 공정조건과 장비특성에 따라 다양하게 조정될 수 있다.

[0139] 한편, 감시진단부(40)는 아래의 수학적식 12와 같이 영상처리부(30)에서 계산한 입자분포를 이용하여 측정되는 임의의 층간 입자수를 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서의 층간 기준입자수와 비교하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시할 수도 있다.

[0140] 즉, 감시진단부(40)는 영상처리부(30)에서 계산되는 층간 입자수를 정상적인 상태에서의 층간 기준입자수와 비교하여 그 차이값이 제2 허용기준치 이내이면 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단하고, 제2 허용기준치를 벗어나면 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상이 아닌 것으로 판단할 수 있다.

[0141] 이때, 층간 입자수는 아래의 수학적식 13에 의해 산출될 수 있다.

수학적식 12

$$|N^r - N| < T_{2n}$$

[0143] 여기서, N^r 은 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서의 임의의 피크 간(b와 c, a와 b, a와 f 등) 층간 기준입자수를 의미하고, N은 영상처리부(30)에서 계산된 입자분포를 이용하여 측정되는 임의의 피크 간 층간 입자수를 의미하며, T_{2n} 은 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상인 것으로 판단할 수 있는 제2 허용기준치를 의미한다.

[0144] 제2 허용기준치(T_{2n})는 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서 측정되는 층간 입자수의 평균과 표준편차를 이용하여 설정될 수 있다.

수학적식 13

$$N = \sum_{j=a}^{j=b} N_j$$

[0146] 여기서 a와 b는 감시하고자 하는 두 피크의 위치이고, N_j 는 y축 상에서 두 피크 a,b 사이에 있는 임의의 j번째 위치에서의 입자수를 의미한다.

[0147] 한편, 도 6에는 y축 방향의 입자분포가 도시되어 있지만, x축 방향으로도 동일하게 입자분포를 계산할 수 있다. 따라서 감시진단부(40)는 x축 상의 임의의 구간에서의 입자분포를 이용하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태를 감시할 수도 있다.

[0148] 이어서, 영상처리부(30)가 3-D 입자 카운터(35)를 이용하여 입자분포를 계산하는 과정 및 감시진단부(40)가 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 과정을 설명한다.

[0149] 영상처리부(30)는 디지털 홀로그램 센서(20)에서 촬영된 홀로그램 영상으로부터 임의의 깊이(depth) 방향에서의 영상(x pixel × y pixel)을 프레즈넬 변환기법을 적용하여 복원할 수 있으며, 복원된 영상의 입자분포를 추출할 수 있다.

[0150] 영상처리부(30)는 이러한 입자분포를 z축 방향에 적용하여 챔버(10) 내부의 3-D 입자분포를 계산할 수 있다.

[0151] 구체적으로, z축 방향은 챔버(10)의 측면(lateral) 방향이며, 따라서 영상처리부(30)는 임의의 챔버(10) 측면방향에서의 2차원 입자분포를 수집하고, 이를 전체 챔버(10) 측면방향에 적용하여 챔버(10) 내 3차원 공간에서의

입자분포를 수집할 수 있다.

[0152] 감시진단부(40)는 영상처리부(30)에 의해 계산되는 일부 또는 전체 챔버(10)의 측면 방향에서의 3-D 입자분포를 이용하여 진공 상태 또는 플라스마 상태를 감시할 수 있다. 이를 위해 앞에서 설명한 입자수를 계산하는 수학적식이 적용될 수 있을 것이다.

[0153] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라스마 감시시스템에서 영상처리부가 홀로그래프 영상으로부터 전류패턴을 추출한 예시도이다.

[0154] 마지막으로, 영상처리부(30)가 전류패턴 추출기(37)를 이용하여 도 4와 도 5에 도시된 영상으로부터 전류패턴을 추출하는 과정 및 감시진단부(40)가 진공 상태 또는 플라스마 상태의 정상 여부를 감시하는 과정을 설명한다.

[0155] 영상처리부(30)의 전류패턴 추출기(37)는 디지털 홀로그래프 센서(20)에서 촬영된 원본 홀로그래프 영상 또는 영상처리부(30)에서 복원된 홀로그래프 영상에서 일부 영역의 영상을 추출한다. 이때, 실시간 분석을 위해서는 분석하는 영상의 크기가 작은 것이 바람직하다.

[0156] 이후, 영상처리부(30)는 추출된 일부 영역의 영상에 아래의 수학적식 14를 적용하여 전류패턴을 추출한다.

수학적식 14

$$binary\ value = \begin{cases} 0 & , G_p \in GR \\ 2^n - 1 & , G_p \notin GR \end{cases}$$

[0158] 여기서 G_p 는 미리 설정된 그레이 스케일 범위(GR)에 포함되는 픽셀의 그레이 스케일 값을 의미하고, n 은 CCD 센서(25)의 각 픽셀의 비트를 의미한다.

[0159] 예를 들어, CCD 센서(25)의 각 픽셀이 8비트인 경우, 설정된 그레이 스케일 범위(GR)에 포함되는 픽셀들은 '0'의 값을 가지고, 그 외의 픽셀들은 '255'의 값을 가지게 되며, 영상처리부(30)는 '0'의 값을 가지는 픽셀들을 연결하여 전류패턴을 생성할 수 있다.

[0160] 여기서, '0'와 '255'는 각각 검은색과 흰색에 해당한다. 전류패턴은 검은색으로 나타나지만 다른 색으로 표기될 수 있음은 물론이다. 즉, 서로 다른 그레이 스케일 범위에서 서로 다른 색으로 전류패턴을 형성할 수 있다.

[0161] 예를 들어, 도 7에는 도 5에 도시된 입자분포에 '80~90'의 그레이 스케일 범위를 적용하여 추출한 전류패턴이 도시되어 있다.

[0162] 도 7에 도시된 바와 같이, 입자들의 궤적인 전류는 다양한 루프를 형성하고 있으며, 이들은 상호 연결되어 전류네트워크를 형성하고 있음을 알 수 있다.

[0163] 진공 상태 또는 플라스마 상태가 정상인 경우의 전류패턴과 정상이 아닌 경우의 전류패턴은 서로 다르기 때문에, 감시진단부(40)는 아래의 수학적식 15를 이용하여 진공 상태 또는 플라스마 상태의 정상 여부를 감시할 수 있다.

수학적식 15

$$|G^r(i,j) - G(i,j)| < T$$

[0165] 여기서 $G^r(i,j)$ 는 정상적인 진공 상태 또는 플라스마 상태에서 수집된 영상의 전류패턴을 구성하는 특정 픽셀 위치에서의 기준 그레이 스케일 값을 의미하고, $G(i,j)$ 는 전류패턴 추출기(37)에서 추출한 전류패턴을 구성하는 특정 픽셀 위치에서의 그레이 스케일 값을 의미한다. T 는 진공 상태 또는 플라스마 상태가 정상적인 것으로 판단할 수 있는 한계허용치를 의미하며, 정상적인 진공 상태 또는 플라스마 상태에서 추출되는 전류패턴의 평균과 표준편차를 이용하여 설정될 수 있다.

- [0166] 즉, 감시진단부(40)는 $G^r(i, j)$ 와 $G(i, j)$ 의 차이가 한계허용치 이내이면, 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상적인 것으로 판단하고, 한계허용치를 벗어나면 해당 위치에서의 전류 흐름이 정상적이지 않은 것이므로 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상적이지 않은 것으로 판단한다.
- [0167] 또한, 감시진단부(40)는 한계허용치를 벗어나는 픽셀의 전체 대상 픽셀에 대한 비율이 미리 설정된 기준비율을 초과하는 경우, 진공 상태 또는 플라즈마 상태에 고장이 발생한 것으로 판단할 수 있다.
- [0168] 예를 들어, 감시진단부(40)는 한계허용치를 벗어나는 픽셀이 전체 대상 픽셀의 5%를 초과하는 경우, 진공 상태 또는 플라즈마 상태에 고장이 발생한 것으로 판단할 수 있다.
- [0169] 이때, 기준비율은 감시하는 전류패턴의 복잡성과 밀도에 따라 다양하게 조정될 수 있으며, 이러한 감시 동작에 의해 입자 단위의 플라즈마 고장 감시가 가능해진다. 또한, 그레이 스케일 값을 낮은 값으로 설정하면, 전류 궤적의 수가 상대적으로 적어져 감시 성능을 높일 수 있다.
- [0170] 한편, 감시진단부(40)는 복잡한 전류패턴을 인식하는 패턴인식기법을 이용하여 이를 감시 및 진단에 활용할 수도 있다. 이러한 패턴인식기법으로는 신경망과 퍼지논리 등의 전산지능 모델이 이용될 수 있다.
- [0171] 즉, 감시진단부(40)는 진공 또는 플라즈마 상태에서 촬영된 홀로그램 영상에 대해 전류를 구성하는 픽셀 패턴을 신경망을 이용하여 모델링하고, 개발된 모델의 성능을 아래의 수학적 식 16에 의해 평가하여 진공 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시할 수 있다.

수학적 식 16

[0172]
$$|RMSE^r - RMSE| < T_e$$

- [0173] 여기에서 $RMSE^r$ 은 정상적인 진공 상태 또는 플라즈마 상태에서 수집된 전류패턴을 가지고 모델을 개발하였을 때의 테스트 데이터에 대한 RMSE(Root Mean-Square Error)를 의미한다. RMSE는 테스트 영상을 구성하는 전류패턴의 입력패턴에 대한 모델예측치와 입력패턴에 대한 출력치 간의 에러를 의미한다.
- [0174] T_e 는 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상적인 것으로 판단할 수 있는 허용에러치를 의미하며, 공정조건과 장비에 따라 다양하게 조정될 수 있다.
- [0175] 이때, 감시진단부(40)는 $RMSE^r$ 에 대한 RMSE의 차이값이 10% 이내이면 진공 또는 플라즈마 상태가 정상적인 것으로 판단할 수 있다.
- [0176] 챔버의 여러 위치에서 결정되는 3-D 전류패턴의 경우, 다중 (multiple) 신경망이 적용될 수 있으며, 전술한 수학적 식 16이 각 모델 예측치에 적용될 수 있다. 적용결과 한계 범위를 벗어나는 공간이 진공 플라즈마 고장이 생긴 위치로 진단될 수 있다.
- [0177] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 진공플라즈마 감시방법의 동작 흐름을 도시한 순서도로서, 이를 참조하여 본 발명의 구체적인 동작을 설명한다.
- [0178] 우선, 감시제어부(100)는 디지털 홀로그램 센서(20)로부터 진공 상태의 챔버(10) 내부를 촬영한 홀로그램 영상을 입력받는다(S110).
- [0179] 그러면, 감시제어부(100)의 영상처리부(30)는 입력된 홀로그램 영상으로부터 입자수를 계산한다(S120).
- [0180] 이때, 감시제어부(100)의 영상처리부(30)는 앞에서 설명한 바와 같이 홀로그램 영상에 1-D 입자 카운터(31), 2-D 입자 카운터(33), 3-D 입자 카운터(35) 중 적어도 하나를 적용하여 입자수를 계산할 수 있다.
- [0181] 이후, 감시제어부(100)의 감시진단부(40)는 계산된 입자수를 정상적인 진공 상태에서의 기준입자수와 비교하여 그 차이값이 허용기준치 이내인지 여부를 확인한다(S130).
- [0182] 만약, 상기의 차이값이 허용기준치 이내이면, 정상적인 진공 상태인 것이므로 감시제어부(100)는 디지털 홀로그램 센서(20)로부터 플라즈마 상태의 챔버(10) 내부를 촬영한 홀로그램 영상을 입력받는다(S140).

- [0183] 이후, 감시제어부(100)의 영상처리부(30)는 입력된 홀로그램 영상으로부터 입자수를 계산한다(S150).
- [0184] 이때, 단계 S130과 마찬가지로 감시제어부(100)의 영상처리부(30)는 홀로그램 영상에 1-D 입자 카운터(31), 2-D 입자 카운터(33), 3-D 입자 카운터(35) 중 적어도 하나를 적용하여 입자수를 계산할 수 있다.
- [0185] 감시제어부(100)의 감시진단부(40)는 계산된 입자수를 정상적인 플라즈마 상태에서의 기준입자수와 비교하여 그 차이값이 허용기준치 이내인지 여부를 확인하고(S160), 그 차이값이 허용기준치 이내이면, 정상적인 플라즈마 상태인 것이므로 감시를 종료한다.
- [0186] 반면, 단계 S130과 단계 S160에서, 계산된 입자수와 기준입자수의 차이값이 허용기준치를 벗어나는 경우에는 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상적이지 않은 것이므로, 감시제어부(100)는 출력부(50)를 제어하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 고장상태를 출력하여 표시한다(S170).
- [0187] 도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 진공플라즈마 감시방법의 동작 흐름을 도시한 순서도로서, 이를 참조하여 본 발명의 다른 실시예에 따른 진공플라즈마 감시방법을 설명한다.
- [0188] 앞에서 설명한 실시예에서는 감시제어부(100)의 영상처리부(30)가 홀로그램 영상으로부터 입자수를 계산하고, 감시진단부(40)가 이에 기초하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시하는 경우에 대해서 설명하였다.
- [0189] 하지만, 감시제어부(100)의 영상처리부(30)가 홀로그램 영상으로부터 전류패턴을 추출하고, 감시진단부(40)가 이에 기초하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 정상 여부를 감시할 수도 있다.
- [0190] 우선, 감시제어부(100)는 디지털 홀로그램 센서(20)로부터 진공 상태의 챔버(10) 내부를 촬영한 홀로그램 영상을 입력받는다(S210).
- [0191] 그러면, 감시제어부(100)의 영상처리부(30)는 입력된 홀로그램 영상으로부터 전류패턴을 추출한다(S220).
- [0192] 이때, 감시제어부(100)의 영상처리부(30)는 홀로그램 영상의 일부 영역을 추출하고 이진화하여 전류패턴을 추출할 수 있다.
- [0193] 이후, 감시제어부(100)의 감시진단부(40)는 추출된 전류패턴의 특정 픽셀 위치의 그레이 스케일 값을 정상적인 진공 상태에서의 해당 픽셀 위치의 기준 그레이 스케일 값과 비교하여 그 차이값이 한계허용치 이내인지 여부를 확인한다(S230).
- [0194] 만약, 상기의 차이값이 한계허용치 이내이면, 정상적인 진공 상태인 것이므로 감시제어부(100)는 디지털 홀로그램 센서(20)로부터 플라즈마 상태의 챔버(10) 내부를 촬영한 홀로그램 영상을 입력받는다(S240).
- [0195] 이후, 감시제어부(100)의 영상처리부(30)는 입력된 홀로그램 영상으로부터 전류패턴을 추출한다(S250).
- [0196] 이때, 단계 S220과 마찬가지로 감시제어부(100)의 영상처리부(30)는 홀로그램 영상의 일부 영역을 추출하고 이진화하여 전류패턴을 추출할 수 있다.
- [0197] 감시제어부(100)의 감시진단부(40)는 추출된 전류패턴의 특정 픽셀 위치의 그레이 스케일 값을 정상적인 진공 상태에서의 해당 픽셀 위치의 기준 그레이 스케일 값과 비교하여 그 차이값이 한계허용치 이내인지 여부를 확인하고(S260), 그 차이값이 한계허용치 이내이면, 정상적인 플라즈마 상태인 것이므로 감시를 종료한다.
- [0198] 반면, 단계 S230과 단계 S260에서, 추출된 전류패턴의 특정 픽셀 위치의 그레이 스케일 값과 해당 픽셀 위치의 기준 그레이 스케일 값의 차이값이 한계허용치를 벗어나는 경우에는 진공 상태 또는 플라즈마 상태가 정상적이지 않은 것이므로, 감시제어부(100)는 출력부(50)를 제어하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 고장상태를 출력하여 표시한다(S270).
- [0199] 한편, 본 실시예에서는 진공 상태 또는 플라즈마 상태의 쉬스 구조를 촬영한 영상을 이용하여 진공 상태 또는 플라즈마 상태를 감시하는 시스템 및 방법에 대해 설명하였으나, 촬영되는 영역은 쉬스 구조에 한정되지 않으며, 기타 다른 영역에 존재하는 입자 또는 입자패턴을 촬영하고 감시하는 것도 가능할 것이다.
- [0200] 그리고, 본 실시예에서는 영상처리부(30)가 1-D 입자 카운터(31), 2-D 입자 카운터(33), 3-D 입자 카운터(35) 및 전류패턴 추출기(37)를 각각 이용하여 챔버(10) 내부의 입자분포 또는 전류패턴을 계산하는 경우를 예로 들었으나, 상기의 방법들은 다양하게 조합되어 진공 또는 플라즈마 상태 감시에 적용될 수 있을 것이다.

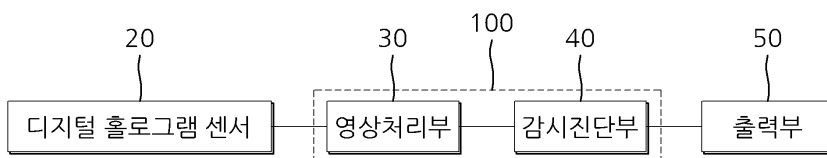
- [0201] 또한, 본 실시예는 검은 입자가 전자인 경우를 가정하여 설명하였으나, 검은 입자가 전자가 아닌 경우에도 동일하게 적용될 수 있을 것이다.
- [0202] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며 당해 기술이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

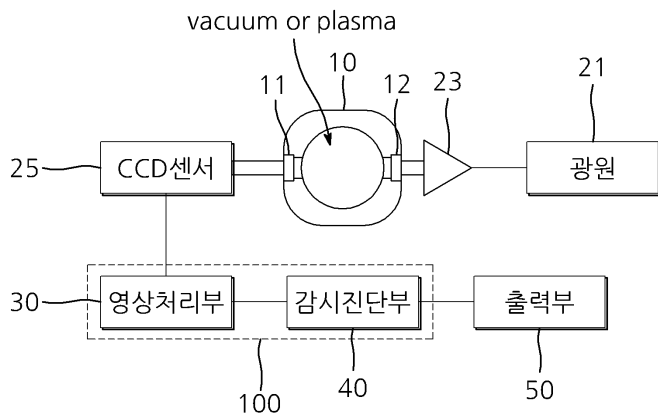
- [0203] 10 : 챔버
 11,12 : 창
 20 : 디지털 홀로그래프 센서
 21 : 광원
 23 : 빔 확장기
 25 : CCD 센서
 100 : 감시제어부
 30 : 영상처리부
 31 : 1-D 카운터
 33 : 2-D 카운터
 35 : 3-D 카운터
 37 : 진류패턴 추출기
 39 : 영상복원기
 40 : 감시진단부
 50 : 출력부

도면

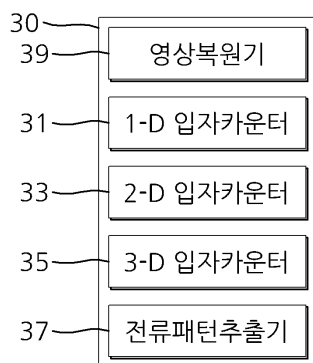
도면1



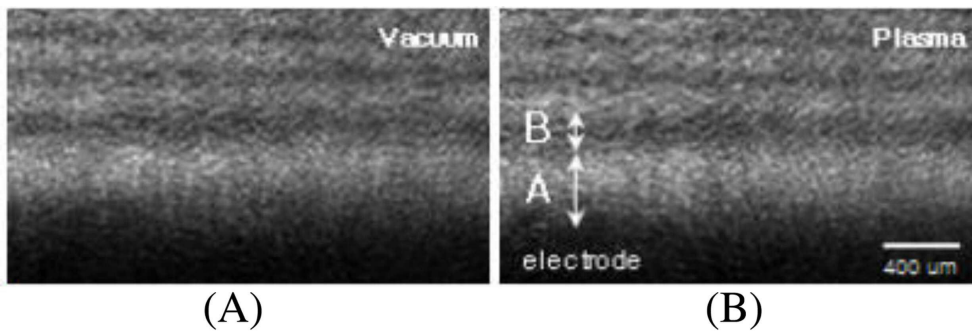
도면2



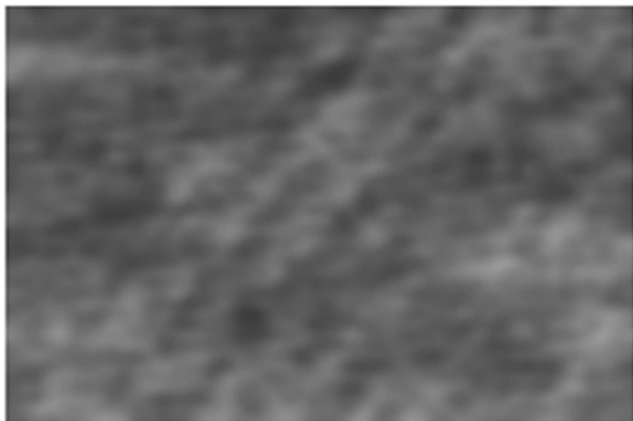
도면3



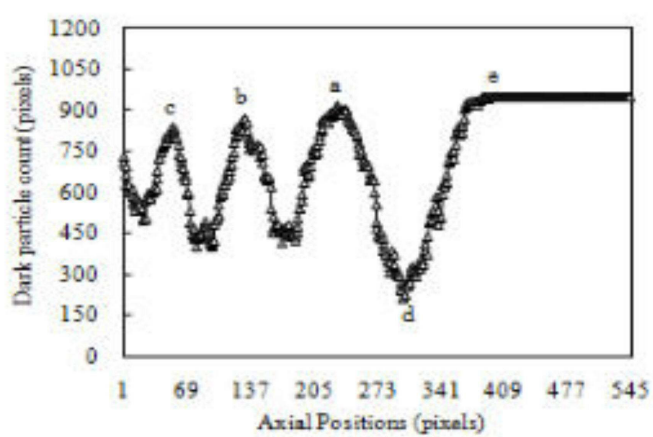
도면4



도면5



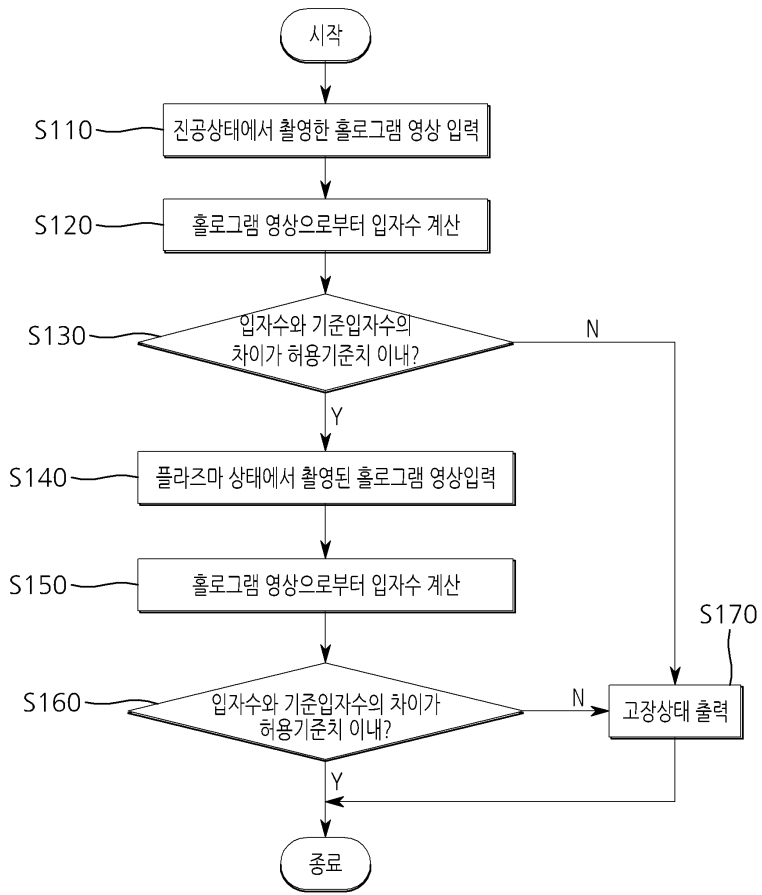
도면6



도면7



도면8



도면9

