



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2016년07월08일  
 (11) 등록번호 10-1636929  
 (24) 등록일자 2016년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01S 17/95 (2006.01) G01N 21/21 (2006.01)  
 G01S 7/48 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2014-0165661  
 (22) 출원일자 2014년11월25일  
 심사청구일자 2014년11월25일  
 (65) 공개번호 10-2016-0062836  
 (43) 공개일자 2016년06월03일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 US20070002321 A1  
 KR1020130037428 A  
 김덕현. 최적화 기법을 이용한 두 개의 회전하는  
 사분과장판으로 구성된 타원편광분석기에서의 체  
 계적인 오차 보정. KOREAN JOURNAL OF OPTICS AND  
 PHOTONICS. 2014.2월. VOL.25, NUM.1, pp.29-37.  
 KR1020110087206 A

(73) 특허권자  
 한밭대학교 산학협력단  
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
 (72) 발명자  
 김덕현  
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
 불요  
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
 (74) 대리인  
 특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 변영석

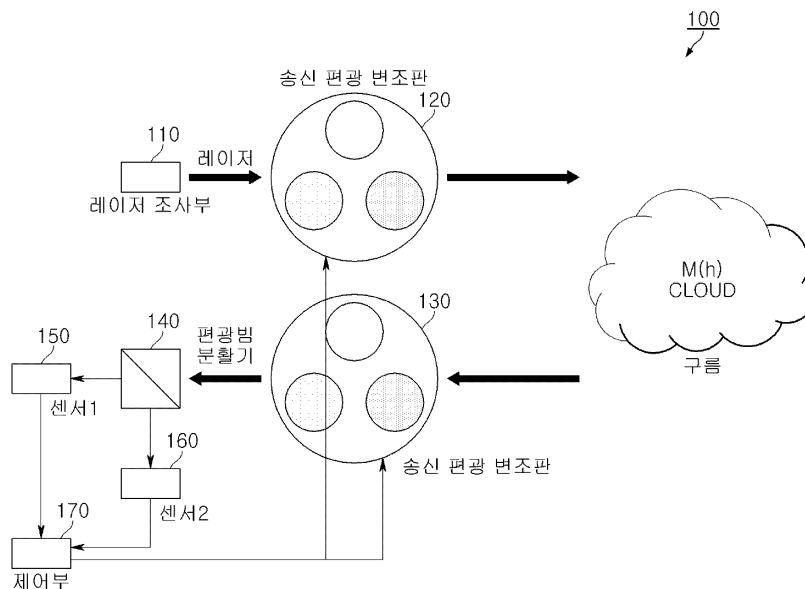
(54) 발명의 명칭 **원격 대상체에 대한 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법**

**(57) 요약**

본 발명은 원격 대상체에 대한 후방산란 매트릭스를 측정하는 장치 및 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 원거리에 위치하는 구름 등 측정 대상체에 대하여 3가지 편광 특성을 가지는 레이저를 조사하고, 상기 측정 대상체에서 산란되어 돌아오는 3가지 편광 특성의 레이저를 각각 3가지 편광 특성으로 변조하여 수신한 후, 상기 측

(뒷면에 계속)

**대표도**



정 대상체에 대한 후방산란 물러 매트릭스를 산출하는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법에 관한 것이다.

본 발명은 3가지 편광 특성을 가지는 선형 편광 레이저를 순차적으로 측정 대상체로 조사하는 레이저 송신부; 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조하는 수신편광변조부; 상기 수신편광변조부에서 편광된 레이저를 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저로 분할하는 편광빔 분할기; 상기 편광빔 분할기에서 분할된 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저를 측정하는 제1 센서 및 제2 센서; 및 상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 이용하여 상기 측정 대상체에 대한 물러 매트릭스를 산출하는 제어부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치를 개시하는 효과를 갖는다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1365001850
부처명	기상청
연구관리전문기관	(재)기상기술개발원
연구사업명	기상기술개발사업
연구과제명	구름 특성 관측기법과 구름 관측자료 분석기술 개발
기여율	1/1
주관기관	한밭대학교 산학협력단
연구기간	2014.03.01 ~ 2015.02.28

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

3가지 편광 특성을 가지는 선형 편광 레이저를 순차적으로 측정 대상체로 조사하는 레이저 송신부;  
 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조하는 수신편광변조부;  
 상기 수신편광변조부에서 편광된 레이저를 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저로 분할하는 편광빔 분할기;  
 상기 편광빔 분할기에서 분할된 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저를 측정하는 제1 센서 및 제2 센서; 및  
 상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 이용하여 상기 측정 대상체에 대한 물러 매트릭스를 산출하는 제어부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,  
 상기 레이저 송신부는,  
 선형 편광 레이저를 조사하는 레이저 조사부; 및  
 상기 선형 편광 레이저를 3가지 편광 특성으로 변조하는 송신편광변조부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치.

#### 청구항 3

제 2항에 있어서,  
 상기 송신편광변조부는,  
 상기 레이저 조사부에서 조사된 레이저에 대하여,  
 레이저를 변조하지 않는 무변조부,  
 레이저의 편광 방향을  $\lambda/4$  만큼 변경시키는  $\lambda/4$  파장판 및  
 레이저의 편광 방향을  $\lambda/2$  만큼 변경시키는  $\lambda/2$  파장판을 포함하는 회전판을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치.

#### 청구항 4

제 1항에 있어서,  
 상기 수신편광변조부는,  
 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여,  
 레이저를 변조하지 않는 무변조부,  
 레이저의 편광 방향을  $\lambda/4$  만큼 변경시키는  $\lambda/4$  파장판 및  
 레이저의 편광 방향을  $\lambda/2$  만큼 변경시키는  $\lambda/2$  파장판을 포함하는 회전판을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치.

#### 청구항 5

제 3항 또는 제4항에 있어서,  
 상기 제어부는,

상기 회전판의 회전을 제어하면서 상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 산출하는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치.

**청구항 6**

제 1항에 있어서,

상기 측정 대상체에 대한 후방산란 물리 매트릭스(M)는 아래의 수식과 같은 구조를 가지는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치.

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{12} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ -m_{13} & -m_{23} & m_{33} & m_{34} \\ m_{14} & m_{24} & -m_{34} & m_{44} \end{bmatrix}$$

**청구항 7**

제 6항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 3가지 편광 특성을 가지는 선형 편광 레이저가 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조되어 분할된 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 수신 강도를 이용하여 상기 물리 매트릭스에 대한 9개의 방정식을 구성하고,

$m_{11} - m_{22} + m_{33} - m_{44} = 0$ 의 방정식을 함께 이용하여 상기 물리 매트릭스를 산출하는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치.

**청구항 8**

제3항 있어서,

상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축과 상기 선형 편광 레이저의 편광 방향 간의 각도의 조합에 대하여, 상기 물리 매트릭스를 산출하기 위한 방정식에 대한 조건수를 고려하여 상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축의 조합을 산정하는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치.

**청구항 9**

제4항 있어서,

상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축과 상기 산란되어 되돌아온 레이저의 편광 방향 간의 각도의 조합에 대하여,

상기 물리 매트릭스를 산출하기 위한 방정식에 대한 조건수를 고려하여 상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축의 조합을 산정하는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 장치.

**청구항 10**

선형 편광의 레이저를 3가지 편광 특성으로 변조하여 순차적으로 측정 대상체로 조사하는 단계;

상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조하는 단계;

상기 변조하는 단계에서 편광된 레이저를 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저로 분할하여 각 강도를 측정하는 단계; 및

상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 이용하여 상기 측정 대상체에 대한 물리 매트릭스를 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 방법.

**청구항 11**

제 10항에 있어서,

상기 3가지 편광 특성으로 변조되어 상기 측정 대상체로 조사된 후 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조되어 분할된 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 수신 강도를 이용하여 상기 물리 매트릭스에 대한 9개의 방정식을 구성하고,

$$m_{11} - m_{22} + m_{33} - m_{44} = 0$$

의 방정식을 함께 이용하여 상기 물리 매트릭스를 산출하는 것을 특징으로 하는 후방산란 매트릭스 측정 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 원격 대상체에 대한 후방산란 매트릭스를 측정하는 장치 및 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 원거리에 위치하는 구름 등 측정 대상체에 대하여 3가지 편광 특성을 가지는 레이저를 조사하고, 상기 측정 대상체에서 산란되어 돌아오는 3가지 편광 특성의 레이저를 각각 3가지 편광 특성으로 변조하여 수신한 후, 상기 측정 대상체에 대한 후방산란 물리 매트릭스를 산출하는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 빛을 이용하여 측정 대상체의 물리적 특성을 파악하는 방법은 다양한 분야에서 연구되고 있다. 그 중에서, 측정 대상체에 소정의 타원 편광된 빛을 인가하고, 그로부터 산란되어 반사되는 빛의 타원 편광 상태를 측정하여 상기 측정 대상체의 산란 특성을 파악하고, 이로부터 상기 측정 대상체의 다양한 물리적 특성을 산출하는 방법을 타원편광분석법(Ellipsometry)이라고 하며, 상기 타원편광분석법은 측정 대상체 표면의 코팅 상태나 측정 대상체의 굴절을 등을 파악하기 위하여 다양하게 응용되고 있다.

[0003] 원거리에 있는 측정 대상체, 예를 들어 공기 중의 부유 에어로졸이나 구름을 구성하는 있는 입자들과 같은 경우 직접 접근하여 측정을 하기 위해서는 비용과 시간이 많이 소모되므로, 통상 원격 측정 등의 방법으로 측정하게 된다. 특히, 구름의 경우 빛을 구름에 조사하여 산란시킨 후 되돌아오는, 즉 후방산란된 빛만을 측정할 수 있으므로, 상기 후방산란된 빛으로 구름에 대하여 필요한 정보를 산출할 수 있어야 한다.

[0004] 종래 기술에 따른 원격 구름 특성 측정 장치로 편광 라이다, 이중편파 레이더 등을 들 수 있으나, 상기한 종래 측정 장치들은 측정 대상체가 대칭적으로 분포(symmetric distribution)하고 있다고 가정하고 있어 측정 장치의 방향을 구름에 대하여 임의의 방위각(azimuth)으로 회전하여도 같은 결과를 얻는다는 가정하에서 장치가 구성되어 있으나, 실제 구름이나 에어로졸의 경우 바람의 방향이나, 중력장에 의하여 특정 방향으로 정렬이 이루어져 비대칭적으로 분포할 수 있어, 상기 종래 측정 장치로는 상기한 비대칭적인 분포를 가지는 측정 대상체를 적절하게 측정하지 못할 수 있으며, 심지어는 특정 방향으로 정렬된 입자 때문에 특정 편광 방향에서 터무니 없이 큰 후방산란 신호를 얻게 됨으로써, 측정 오차가 매우 커질 수도 있다.

[0005] 또한, 측정 대상체의 산란 특성을 파악하는 것은 상기 측정 대상체의 물리 매트릭스(Mueller Matrix)를 산출함으로써 가능하다. 일반적으로 빛은 편광의 방향이 빛의 진행 방향에 대하여 직각 방향으로 평면 상에 존재하므로, 평면상에 존재하는 빛의 편광은 2차원 평면 상에서 각 방향의 편광의 세기( $E_x$ ,  $E_y$ )와 그 편광 방향에서의 위상(phase:  $\Theta_x$ ,  $\Theta_y$ )을 포함하여 4 개의 변수로 표현될 수 있다. 따라서, 측정 대상체의 산란 특성을 나타내는 물리 매트릭스는 4 x 4 행렬로 표현될 수 있다.

[0006] 상기 4x4의 물리 매트릭스에서 미지의 16 개의 행렬 원소의 값을 구하기 위해서는 상기 측정 대상체에 4 개의 편광 특성( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $\Theta_x$ ,  $\Theta_y$ )을 가지는 빛을 입사시키고, 상기 입사된 4개의 편광 특성을 가지는 빛에 대하여 각각 4개의 조합으로 산란된 빛의 편광 상태( $E_x'$ ,  $E_y'$ ,  $\Theta_x'$ ,  $\Theta_y'$ )를 측정하면, 총 16개의 조합으로 연립 방정식을 만들 수 있으므로, 상기 미지의 16개의 행렬 원소 값을 구할 수 있고, 결국 측정 대상체의 물리 매트릭스를 구할 수 있게 된다.

[0007] 이에 따라, 종래 기술에 따른 타원편광분석법(Ellipsometry)에서는 상기 물리 매트릭스의 16개의 행렬 원소를

구하기 위하여, 우량 조건 문제(well-posed problem)을 구성하여 그 해를 구하는 방법을 사용하였다. 그러나, 구름이나 공기 중에 부유한 에어로졸과 같이 움직이거나 시간적으로 변화하는 물질의 경우 상기 16개의 미지수를 구하기 위하여 광학계를 변경하면서 측정을 진행하는데 상당한 시간이 소모될 수 있어, 측정 도중에 이미 측정 대상체의 물리적 상태가 바뀔 수 있으므로 동일한 측정 대상체에 대한 적절한 연립 방정식을 구성하기 어렵다는 문제가 있었다. 나아가, 상기 광학계를 변경하면서 측정을 진행함에 있어, 서로 독립된 조건을 사용하지 않는 경우에는 다른 광학계에서 같은 방정식을 중복 도출하는 꼴이 되면서 불량조건문제(ill-posed problem)가 될 수도 있다. 따라서, 물리 매트릭스 산출을 위한 측정에 있어서 광학계 변경을 최소화하면서도 상기 물리 매트릭스를 정확하게 산출할 수 있는 방법이 지속적으로 요구되고 있다.

[0008] 나아가, 종래 기술에 따라 물리 매트릭스를 산출하는 경우 조사된 빛의 광량 변화나 센서의 감도 변화, 기타 측정 시스템의 오차(systematic error) 및 빛의 고유한 통계적 오차(Poisson Statics)에 의하여 측정시에 발생하는 작은 오차에 의해서도 산출된 물리 매트릭스의 결과치가 크게 달라질 수 있다. 따라서, 측정 과정에서 다소간의 오차가 발생하더라도 산출되는 물리 매트릭스의 결과치에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 방법을 적용하는 것이 더욱 바람직할 것이나, 아직 이에 대한 적절한 방안이 제시되지 못하고 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0009] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로, 물리 매트릭스 산출을 위한 측정에 있어서 광학계 변경을 최소화하면서도 상기 물리 매트릭스를 정확하게 산출할 수 있는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0010] 또한, 본 발명은 특정 방향으로 정렬된 입자 등 비대칭적인 분포를 가지는 측정 대상체에 대해서도 측정 오차를 최소화할 수 있는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0011] 또한, 본 발명은 물리 매트릭스 산출을 위한 측정 과정에 다소간의 오차가 발생하더라도 산출되는 물리 매트릭스의 결과치에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0012] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 한 측면에 따른 후방산란 매트릭스 측정 장치는 3가지 편광 특성을 가지는 선형 편광 레이저를 순차적으로 측정 대상체로 조사하는 레이저 송신부; 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조하는 수신편광변조부; 상기 수신편광변조부에서 편광된 레이저를 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저로 분할하는 편광빔 분할기; 상기 편광빔 분할기에서 분할된 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저를 측정하는 제1 센서 및 제2 센서; 및 상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 이용하여 상기 측정 대상체에 대한 물리 매트릭스를 산출하는 제어부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0013] 여기서, 상기 레이저 송신부는, 선형 편광 레이저를 조사하는 레이저 조사부; 및 상기 선형 편광 레이저를 3가지 편광 특성으로 변조하는 송신편광변조부를 포함하여 구성될 수 있다.

[0014] 또한, 상기 송신편광변조부는, 상기 레이저 조사부에서 조사된 레이저에 대하여, 레이저를 변조하지 않는 무변조부, 레이저의 편광 방향을  $\lambda/4$  만큼 변경시키는  $\lambda/4$  파장판 및 레이저의 편광 방향을  $\lambda/2$  만큼 변경시키는  $\lambda/2$  파장판을 포함하는 회전판을 포함하여 구성될 수 있다.

[0015] 또한, 상기 수신편광변조부는, 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여, 레이저를 변조하지 않는 무변조부, 레이저의 편광 방향을  $\lambda/4$  만큼 변경시키는  $\lambda/4$  파장판 및 레이저의 편광 방향을  $\lambda/2$  만큼 변경시키는  $\lambda/2$  파장판을 포함하는 회전판을 포함하여 구성될 수 있다.

[0016] 또한, 상기 제어부는, 상기 회전판의 회전을 제어하면서 상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 산출할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 측정 대상체에 대한 후방산란 물리 매트릭스(M)는 아래의 수학적식과 같은 구조를 가질 수 있다.

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{12} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ -m_{13} & -m_{23} & m_{33} & m_{34} \\ m_{14} & m_{24} & -m_{34} & m_{44} \end{bmatrix}$$

[0018]

[0019] 또한, 상기 제어부는, 상기 3가지 편광 특성을 가지는 선형 편광 레이저가 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조되어 분할된 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 수신 강도를 이용하여 상기 물리 매트릭스에 대한 9개의 방정식을 구성하고,

$$m_{11} - m_{22} + m_{33} - m_{44} = 0$$

의 방정식을 함께 이용하여 상기 물리 매트릭스를 산출할 수 있다.

[0020] 또한, 상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축과 상기 선형 편광 레이저의 편광 방향 간의 각도의 조합에 대하여, 상기 물리 매트릭스를 산출하기 위한 방정식에 대한 조건수를 고려하여 상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축의 조합을 산정할 수 있다.

[0021] 또한, 상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축과 상기 산란되어 되돌아온 레이저의 편광 방향 간의 각도의 조합에 대하여, 상기 물리 매트릭스를 산출하기 위한 방정식에 대한 조건수를 고려하여 상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축의 조합을 산정할 수 있다.

[0022] 본 발명의 다른 측면에 따른 후방산란 매트릭스 측정 방법은 선형 편광의 레이저를 3가지 편광 특성으로 변조하여 순차적으로 측정 대상체로 조사하는 단계; 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조하는 단계; 상기 수신편광변조부에서 편광된 레이저를 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저로 분할하여 각 강도를 측정하는 단계; 및 상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 이용하여 상기 측정 대상체에 대한 물리 매트릭스를 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 여기서, 상기 3가지 편광 특성으로 변조되어 상기 측정 대상체로 조사된 후 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조되어 분할된 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 수신 강도를 이용하여

$$m_{11} - m_{22} + m_{33} - m_{44} = 0$$

여 상기 물리 매트릭스에 대한 9개의 방정식을 구성하고, 의 방정식을 함께 이용하여 상기 물리 매트릭스를 산출할 수 있다.

**발명의 효과**

[0024] 본 발명에 따르면, 원거리에 위치하는 구름 등 측정 대상체에 대하여 3가지 편광 특성을 가지는 레이저를 조사하고, 상기 측정 대상체에서 산란되어 돌아오는 3가지 편광 특성의 레이저를 각각 3가지 편광 특성으로 변조하여 수신한 후, 상기 측정 대상체에 대한 물리 매트릭스를 산출함으로써, 물리 매트릭스 산출을 위한 측정에 있어서 광학적 변형을 최소화하여 측정 시간을 단축하고, 나아가 상기 측정 대상체의 특성이 빠른 속도로 변화하더라도 이를 정확하게 산출할 수 있는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법을 개시하는 효과를 갖는다.

[0025] 또한 본 발명에 따르면, 특정 방향으로 정렬된 입자 등 비대칭적인 분포를 가지는 측정 대상체에 대해서도 측정 오차를 최소화할 수 있는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법을 개시하는 효과를 갖는다.

[0026] 또한 본 발명에 따르면, 물리 매트릭스 산출을 위한 측정 과정에서 다소간의 오차가 발생하더라도 산출되는 물리 매트릭스의 결과치에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법을 개시하는 효과를 갖는다.

**도면의 간단한 설명**

[0027] 본 발명에 관한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함되는, 첨부도면은 본 발명에 대한 실시예를 제공하고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 설명한다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 후방산란 매트릭스 측정 장치의 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 송신편광변조기의 예시도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 수신편광변조기의 예시도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 후방산란 매트릭스 측정 방법의 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 과장관의 빠른 측과 송수신 광의 편광 방향에 따른 조건수 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0028] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 이하에서는 특정 실시예들을 첨부된 도면을 기초로 상세히 설명하고자 한다.

[0029] 이하의 실시예는 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.

[0030] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 본 발명의 실시 예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다.

[0031] 또한, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되는 것은 아니며, 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0032] 본 발명은 종래기술에 따라 타원편광분광법(Ellipsometry)을 이용하여 물리 매트릭스의 16개의 행렬 원소를 산출하는 후방산란 매트릭스 측정 장치를 구성하는 경우, 측정 시간이 오래 걸리고, 이에 따라 측정 대상체의 상태가 빠르게 변화하는 경우 오차가 발생할 수 있으며, 나아가 비대칭 분포를 가지는 측정 대상체에 대한 측정 오차가 커질 수 있다는 문제점에 착안하여, 원거리에 위치하는 구름 등 측정 대상체에 대하여 3가지 편광 특성을 가지는 레이저를 조사하고, 상기 측정 대상체에서 산란되어 돌아오는 3가지 편광 특성의 레이저를 각각 3가지 편광 특성으로 변조하여 수신한 후, 상기 측정 대상체에 대한 후방산란 물리 매트릭스를 산출하는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법을 제공하게 된다.

[0033] 아래에서는 먼저, 본 발명에 따르는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법에 대한 이론적 배경을 설명한 후, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법에 대하여 구체적으로 검토한다.

[0034] 앞서 설명한 바와 같이, 측정 대상체에 대하여 소정의 빛을 조사하고, 이에 대한 산란 특성을 측정하여 물리 매트릭스(Mueller Matrix)를 산출함으로써, 상기 측정 대상체에 대한 여러 물리적 특성을 산정하는 다양한 연구가 이루어지고 있다.

[0035] 빛의 편광 특성은 2차원 공간 상에서 각 방향의 편광의 세기( $E_x$ ,  $E_y$ )와 그 편광 방향에서의 위상(phase:  $\Theta_x$ ,  $\Theta_y$ )을 포함하여 4개의 변수로 표현될 수 있으므로, 측정 대상체의 산란 특성을 나타내는 물리 매트릭스는 4 x 4 매트릭스로 나타낼 수 있게 된다. 이때, 후방산란의 경우 상환 정리(reciprocal theorem)에 의하여 후방산란 매트릭스(M)는 아래의 수학식 1의 각 식들 만족하게 된다.

**수학식 1**

$$m_{ij} = m_{ji}$$

[0036]

[0037]  $m_{ij} = -m_{ji}$ : if  $i \text{ or } j = 3, i \neq j$

[0038]  $m_{11} - m_{22} + m_{33} - m_{44} = 0$

[0039] 이에 따라, 16 개의 원소를 가지는 후방산란 매트릭스(M)는 아래의 수학식 2와 같이 10 개의 원소를 포함하는 행렬로 표현될 수 있으며, 상기 수학식 1의 마지막 수식( $m_{11} - m_{22} + m_{33} - m_{44} = 0$ )을 고려한다면, 9 개의 변수를 가지는 연립 방정식에 대한 해를 구함으로써, 상기 측정 대상체의 후방산란 매트릭스를 산출할 수 있게 된다.

**수학식 2**

[0040] 
$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{12} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ -m_{13} & -m_{23} & m_{33} & m_{34} \\ m_{14} & m_{24} & -m_{34} & m_{44} \end{bmatrix}$$

[0041] 따라서, 측정 대상체에서의 후방산란에 대한 물리 매트릭스(M)의 미지수는 9 개라고 할 수 있으며, 9 개의 물리 매트릭스 값을 산출할 수 있으면, 상기 측정 대상체에 대한 다양한 특성 정보를 얻을 수 있게 된다.

[0042] 측정 대상체의 산란에 대한 물리 매트릭스의 각 원소( $m_{ij}$ )는 물리적으로 각각 다양한 의미를 지니게 되는데, 종래 많은 연구를 통하여 각 원소의 물리적/수학적 의미가 밝혀 졌다. 따라서, 본 발명을 통하여 상기 측정 대상체에 대한 후방산란 물리 매트릭스를 산출함으로써, 상기 측정 대상체에 대한 여러 특성들을 파악할 수 있게 된다.

[0043] 예를 들어, 수학적 관점에서 편광의 표현은 일반적으로 4 개의 요소로 구성된( $E_x', E_y', \Theta_x', \Theta_y'$ ) 벡터로 표현할 수 있으며, 후방산란은 상기 수학식 2와 같은 행렬로 모델링될 수 있다. 또한, 빛의 편광을 바꾸는 파장판(waveplate)등의 광학계도 형렬( $M_{optics}$ )로 표현될 수 있다. 비등방성(anisotropic) 물질의 경우에는 동일한 매질이더라도 진행 방향에 대하여 회전하는 각도가 달라지면서 매트릭스 구조도 바뀌게 되는데, 이는 아래의 수학식 3처럼 표현될 수 있다.

**수학식 3**

[0044]  $M'_{optics} = R(-\theta)M_{optics}R(\theta)$

[0045] 여기서, R은 회전 행렬(rotation matrix)을 나타내며, 회전 각도( $\theta$ )가 정해지면 회전 행렬 R의 값도 정해지게 된다. 따라서, 다양한 임의의 광학계들도 모두 행렬로 표현이 가능하다고 할 수 있다.

[0046] 편광빔 분할기(polarization beam splitter, PBS) 도 유사한 방법으로 행렬로 표현하는 것이 가능하며, 광검출기(Detector)의 경우에는 빛이 인가되면 그 광량에 따라 하나의 전기적 신호로 바꾸는 역할(스칼라량)을 하기 때문에 빛을 표현하는 벡터와 자리바꿈 벡터(Transpose vector)로 표현이 가능하다. 특히, 빛을 표현하는 벡터는 스톡 벡터(Stokes vector)로 표현할 수 있는데, 스톡 벡터의 첫 원소는 빛의 편광 특성과는 무관하게 빛의 세기에 비례하며, 또한 센서의 효율에 의존하는 값을 나타내므로 광센서는  $n[1,0,0,0]$ 로 표현될 수 있다. 여기서  $n$  는 센서의 효율을 나타낸다. 참고로 빛은 아래의 수학식 4 와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$S = \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix}$$

[0047]

[0048]

수학적으로는 9개의 미지수를 얻기 위하여 9 개의 연립 방정식이 필요하며, 물리적으로는 9 개의 서로 상이한 물리 현상으로부터 상기 연립 방정식을 도출하여야 한다. 또한 상기 연립 방정식의 해는 측정상 오차 등 여러 원인에 의한 물리 매트릭스에서의 오차를 줄이기 위하여 9 개의 방정식에서 조건수(condition number)를 최소화 하는 방식으로 연립 방정식이 만들어 지는 것이 바람직하다.

[0049]

상기 연립 방정식을 도출하기 위하여 9 번의 신호를 측정하는 과정은 모두 독립적이어야 하며, 이때 매우 다양한 방법이 사용될 수 있으나 상기한 바와 같이 방정식의 조건수를 최소화하는 등 최적의 값을 찾는 방식을 사용할 경우 후방산란 물리 매트릭스를 찾는 과정에서 오차 발생을 최소화할 수 있게 된다.

[0050]

아래에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법에 대하여 구체적으로 검토한다.

[0051]

먼저, 도 1에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 후방산란 매트릭스 측정 장치(100)의 구성도를 도시하고 있다. 도 1에서 볼 수 있는 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 후방산란 매트릭스 측정 장치(100)는 3가지 편광 특성을 가지는 선형 편광 레이저를 순차적으로 측정 대상체로 조사하는 레이저 송신부, 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조하는 수신편광변조부(130), 상기 수신편광변조부(130)에서 편광된 레이저를 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저로 분할하는 편광빔 분할기(140), 상기 편광빔 분할기(140)에서 분할된 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저를 측정하는 제1 센서(150) 및 제2 센서(160) 및 상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 이용하여 상기 측정 대상체에 대한 물리 매트릭스를 산출하는 제어부를 포함하여 구성될 수 있다. 이때, 상기 레이저 송신부는 선형 편광 레이저를 조사하는 레이저 조사부(110) 및 상기 선형 편광 레이저를 3가지 편광 특성으로 변조하는 송신편광변조부(120)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0052]

나아가, 상기 송신편광변조부(120)는 상기 레이저 조사부(110)에서 조사된 레이저에 대하여 레이저를 변조하지 않는 무변조부(122), 레이저의 편광 방향을  $\lambda/4$  만큼 변경시키는  $\lambda/4$  파장판(124) 및 레이저의 편광 방향을  $\lambda/2$  만큼 변경시키는  $\lambda/2$  파장판(126)을 포함하는 회전판을 포함하여 구성될 수 있으며, 또한, 상기 수신편광변조부(130)도 상기 송신편광변조부(120)와 유사한 구조로서, 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 레이저를 변조하지 않는 무변조부(132), 레이저의 편광 방향을  $\lambda/4$  만큼 변경시키는  $\lambda/4$  파장판(134) 및 레이저의 편광 방향을  $\lambda/2$  만큼 변경시키는  $\lambda/2$  파장판(136)을 포함하는 회전판을 포함하여 구성될 수 있다.

[0053]

이때, 상기 제어부는 상기 회전판의 회전을 제어하면서 상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 산출한 후, 상기 측정치를 바탕으로 상기 측정 대상체에 대한 후방산란 물리 매트릭스를 구할 수 있게 된다.

[0054]

즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 라이다 장치는 레이저 조사부(110)에서 나오는 선형 편광 레이저에 대하여 3가지 편광 특성으로 변조하는 송신편광변조부(120)와 구름이나 에어로졸 등 측정 대상체에서 후방산란되어 돌아오는 빛에 대하여 적절한 3 가지의 편광 상태에서 센서로 측정하기 위한 수신편광변조부(130) 및 상기 편광 특성의 조합에 따른 9 가지의 종류의 측정 결과를 분석하여 상기 측정 대상체에 대한 후방산란 물리 매트릭스를 산출하는 제어부를 포함하여 구성될 수 있다.

[0055]

또한, 상기 송신편광변조부(120)는 상기 레이저조사부에서 조사된 선형 편광 레이저를 서로 다른 종류의 편광으로 바꿀 수 있어야 하며, 최소 3 가지 이상의 편광 상태로 레이저의 편광을 바꿀 수 있어야 한다. 유사하게 수신편광변조부(130)에서도 산란되어 되돌아온 레이저의 편광 신호 중에서 일정한 편광(편광의 조합이어도 상관

없음)만 센서로 입력시킬 수 있는 구조로 구현되는 것이 바람직하다.

[0056] 나아가, 상기와 같이 3 x 3 의 조합으로 얻어진 9 개의 연립방정식의 조건수가 측정 과정에서 나타날 수 있는 오차의 영향을 최소화 할 수 있도록 구성할 수도 있다.

[0057] 도 2에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 송신편광변조부(120)의 예시도를 보여주고 있다. 도 2에서 볼 수 있는 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 송신편광변조부(120)로서 빛의 편광을 변조하기 위하여 많이 사용되는  $\lambda/2$  파장판(126)과  $\lambda/4$  파장판(124)을 포함하고, 또한 무변조부(122)로서 빈 공간을 포함하여 구성된 회전판을 예시하고 있다. 상기 무변조부(122)로서 편광의 방향에 대하여 아무런 영향을 미치지 않는 빈 공간도 하나의 광학계로 사용될 수 있다. 도 2를 참조하면, 레이저 조사부(110)에서 조사된 레이저에 대하여 회전판의 회전에 따라 상기 무변조부(122),  $\lambda/4$  파장판(124) 및  $\lambda/2$  파장판(126)이 상기 레이저의 경로에 순차적으로 정렬되면서, 상기 무변조부(122),  $\lambda/4$  파장판(124) 및  $\lambda/2$  파장판(126)의 빠른축(fast axis)은 각각 상기 레이저의 편

광 방향에 대하여 일정각도 ( $\theta^{\lambda/4}, \theta^{\lambda/2}$ )로 정렬되게 된다. 이에 따라 상기 레이저 조사부(110)에서 조사된 레이저는 상기 3 개의 다른 광학계를 지나면서 변조되어 3 가지 다른 형태의 편광 상태로 측정 대상체(예를 들어 구름이나 에어로졸)에 도달하게 된다.

[0058] 또한, 도 3에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 수신편광변조부(130)의 예시도를 보여주고 있다. 도 3에서 볼 수 있는 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 수신편광변조부(130)는 상기 송신편광부(120)과 유사한 구조로 구성될 수 있다. 도 3에서 볼 수 있는 바와 같이, 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저의 편광 방향은 레이저 조사부(110)에서 조사된 레이저가 추가적인 편광 상태의 변조없이 상기 송신편광변조부(120)의 무변조부(122)를 통과하고, 또한 상기 측정 대상체에서의 산란에 의해서도 편광의 방향을 바꾸지 않을 경우 수신되는 레이저의 편광 방향을 기준으로 설명하고 있다.

[0059] 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 레이저도 역시 수신편광변조부(130)에 의하여 변조되게 된다. 이때, 상기 송신편광변조부(120)에서 방출되는 3종류의 레이저에 대하여, 상기 수신편광변조부(130)에서 3종류의 편광 변조를 조합하여 9 가지 종류의 레이저를 수신하도록 하게 된다. 이에 따라, 송신편광변조부(120)에서의 3종류의 광학계(무변조부(122),  $\lambda/4$  파장판(124) 및  $\lambda/2$  파장판(126)) 각각에 대하여 수신편광변조부(130)의 3종류의 광학계가 대응될 수 있도록 하기 위하여 수신편광변조부(130)는 송신편광변조부(120)의 3 배의 속도로 회전하도록 제어할 수 있다. 나아가, 각각의 두 광학계의 산란빛의 편광방향에 대하여 각각 일정 각도

( $\theta^{\lambda/4}, \theta^{\lambda/2}$ )로 정렬이 이루어지도록 할 수 있다. 이때, 계산의 복잡성을 피하기 위하여 아래에서는 상기 일정 각도 ( $\theta^{\lambda/4}, \theta^{\lambda/2}$ )가 송신 및 수신 편광변조부(120, 130)에서 같다는 가정하에서 설명한다.

[0060] 레이저 조사부(110)에서 조사된 레이저는 송신편광변조부(120)를 통과하고 측정 대상체에서 산란되어 다시 수신 편광변조부(130)를 거쳐 편광빔 분할기(140)에서 수직 및 수평 편광 레이저로 분할되고 제1 및 제2 센서(150,

160)로 입력( $I_{\parallel}, I_{\perp}$ )된다. 이때, 레이저 조사부에서 조사된 레이저( $S_0$ )가 송신편광변조부( $F_T$ ), 측정 대상체에서의 산란(M), 수신편광변조부( $F_R$ ), 편광빔 분할기( $P_{\parallel}, P_{\perp}$ )를 거쳐서 제1 및 제2 센서( $D_{\parallel}, D_{\perp}$ )로 입력되는 상기와 같은 과정을 수학적으로 표현하면 아래와 같이 수학식 5 내지 수학식 10을 사용하여 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[0061] 먼저, 아래의 수학식 5에서는 레이저 조사부(110)에서 조사된 레이저의 편광 상태를 나타낸다.

**수학식 5**

$$S_0 = (1, 1, 0, 0)^t$$

[0062]

[0063] 또한, 아래의 수학식 6에서는 송신편광변조부(120) 및 수신편광변조부(130)에서 변조되는 레이저의 편광 특성을

표현하고 있다.

**수학식 6**

$$F^j_{T,R} = F(\delta^i, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C^2 + S^2 \cos(\delta^i) & SC(1 - \cos(\delta^i)) & -S \sin(\delta^i) \\ 0 & SC(1 - \cos(\delta^i)) & S^2 + C^2 \cos(\delta^i) & C \sin(\delta^i) \\ 0 & S \sin(\delta^i) & -C \sin(\delta^i) & \cos(\delta^i) \end{bmatrix}, C = \cos(2\theta_j), S = \sin(2\theta_j)$$

[0064]

[0065]

여기서, 상기  $\delta$ 는  $\lambda/2$  파장판(126, 136)에 대해서는  $\pi$ 를, 그리고  $\lambda/4$  파장판(124, 134)에 대해서는  $\pi/2$ 를 나타낸다. 또한, 상기  $\theta$ 는 송신편광변조부(120)에서는  $\lambda/4$ ,  $\lambda/2$  파장판(124, 126)의 빠른 축(fast axis)이 레이저 조사부(110)에서 조사된 레이저의 편광과 이루는 각도, 수신편광변조부(130)에서는  $\lambda/4$ ,  $\lambda/2$  파장판(134, 136)의 빠른 축이 상기 레이저 조사부(110)에서 조사된 레이저의 편광이 변화하지 않고 되돌아오는 경우의 상기 레이저의 편광과 각도를 나타낸다.

[0066]

또한, 측정 대상체에서의 후방산란 물리 매트릭스는 앞서 살핀 수학식 2와 같은 형태를 가지게 된다.

[0067]

또한, 편광범 분할기(140)는 아래의 수학식 7과 같이 표현될 수 있으며,

**수학식 7**

$$P_{\parallel} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, P_{\perp} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0068]

[0069]

이때, 상기  $P_{\parallel}$  와  $P_{\perp}$  는 각각 레이저의 편광 방향에 대하여 직각 및 평행한 방향으로 편광된 빛만을 투과시키는 편광범 분할기(140)를 나타내고 있다.

[0070]

또한, 아래의 수학식 8은 제1 및 제2 센서(150, 160)를 표현하고 있다.

**수학식 8**

$$D_{\parallel} = k_{\parallel} (1, 0, 0, 0), D_{\perp} = k_{\perp} (1, 0, 0, 0)$$

[0071]

[0072]

이때,  $D_{\parallel}$  와  $D_{\perp}$  각각은 수평 방향과 수직 방향으로 편광된 레이저를 수신하는 센서의 효율 ( $k_{\parallel}, k_{\perp}$ )과 검출기를 벡터로 나타낸 것이다.

[0073]

상기와 같은 일련의 수식을 종합하면 각 센서로 입력되는 레이저의 광량은 아래의 수학식 9와 같이 표현될 수 있다.

수학식 9

$$I_{\parallel}(i,j)=D_{\parallel} \cdot P_{\parallel} \cdot F^j_R \cdot M \cdot F^i_T \cdot S_0$$

$$I_{\perp}(i,j)=D_{\perp} \cdot P_{\perp} \cdot F^j_R \cdot M \cdot F^i_T \cdot S_0$$

상기 제1 및 제2 센서(150, 160)에서 얻어진 레이저의 강도(intensity)에 비례하는 상기 수학식 9 를 이용하면 아래의 수학식 10과 같은 수식을 도출할 수 있다. 본 발명에서는 아래의 수학식 10을 이용하여 측정 대상체의 후방산란 물리 매트릭스를 산출하기 위한 방정식을 도출하고, 이를 이용하여 상기 측정 대상체에 대한 물리 매트릭스를 도출하게 된다.

수학식 10

$$C_l=C_{ij}=\frac{I_{\parallel}(i,j)-I_{\perp}(i,j)}{I_{\parallel}(i,j)+I_{\perp}(i,j)}, i=1,2,3; j=1,2,3; l=3*i+j$$

여기서  $C_{i,j}$  는 제1 센서 및 제2 센서의 측정치를 통하여 도출되는 값이며, 상기 수학식 10에서 볼 수 있는 바와 같이  $i$  와  $j$ 의 조합에 의하여 9 개의 방정식을 구성할 수 있게 된다. 또한, 측정 대상체의 물리 매트릭스에 대한 방정식은 수학식 10과 11 에 의하여 도출될 수 있으며, 이때 수학식 10에서 9 개의 방정식을 얻을 수 있고, 마지막 방정식은 앞서 살핀 바와 같이 수학식 1의 마지막 수식을 사용하여 총 10개의 미지수로 이루어진 10 개의 방정식을 도출할 수 있게 된다.

이에 따라, 본 발명의 실시예에 따르면, 16개의 미지수를 산출해야 하는 기존의 타원편광분석기(ellipsometry)의 경우와 달리 최소 9 개(혹은 10로 표현도 가능)의 광학 조합으로 측정 대상체에 대한 후방산란 물리 매트릭스를 구할 수 있기 때문에 빠르게 변화하는 대기 상태나, 움직이는 구름 등 측정 대상체의 특성이 빠른 속도로 변화하는 경우에도 보다 정확하게 후방산란 물리 매트릭스를 산출할 수 있게 된다.

나아가, 상기 수학식 10에 의하여 도출되는 연립 방정식은 아래의 수학식 11과 같은 형태로 표현이 가능하며, 이때  $x$ 는 ( $m'_{11}$ ,  $m'_{12}$ ,  $m'_{13}$ , ...,  $m'_{44}$ )로 이루어진 벡터가 된다.

수학식 11

$$A\vec{x} = \vec{y}$$

따라서, 상기 수학식 11에서 매트릭스 A 값에 따라 상기 수학식 11의 해  $x$ 의 값, 즉 물리 매트릭스를 산출할 수 있게 된다. 앞서 살핀 수학식 2에서 볼 수 있는 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따라 산출되는 물리 매트릭스는 총 10종류(혹은 수학식 1의 마지막 수식을 고려하는 경우에는 9종류)의 원소들을 포함하여 구성될 수 있다. 또한, 앞서 살핀 바와 같이 물리 매트릭스의 각 원소는 다양한 물리적 의미를 가지고 있고, 따라서 이를 이용하여 상기 측정 대상체의 여러가지 특성들을 산출할 수 있게 된다. 예를 들어, 아래의 수학식 12 에서는 측정 대상체의 정렬 정도를, 그리고 수학식 13에서는 측정 대상체의 비구형 정도를 나타내는 지표(index)를 산출할 수 있다. 여기서 매트릭스 요소  $m$ 은 각각 앞선 일련의 과정을 거쳐 최종적으로 산출된 물리 매트릭스의 값으로서, 측정 장비의 방위각에 관계 없이 동일한 값으로 산출되는 물리량이다.

수학식 12

$$\chi = \frac{m_{22} + m_{33}}{m_{11} + m_{44}}$$

[0083]

수학식 13

$$\kappa = 1 - \frac{m_{22}}{m_{11}}$$

[0084]

[0085] 또한, 도 4에서는 본 발명의 다른 실시예에 따른 후방산란 매트릭스 측정 방법의 순서도를 도시하고 있다. 도 4에서 볼 수 있는 바와 같이, 본 발명의 다른 실시예에 따른 후방산란 매트릭스 측정 방법은 선형 편광의 레이저를 3가지 편광 특성으로 변조하여 순차적으로 측정 대상체로 조사하는 단계(S410), 상기 측정 대상체에서 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조하는 단계(S420), 상기 수신편광변조부에서 편광된 레이저를 수직 편광 레이저와 수평 편광 레이저로 분할하여 각 강도를 측정하는 단계(S430) 및 상기 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 측정치를 이용하여 상기 측정 대상체에 대한 물러 매트릭스를 산출하는 단계(S440)를 포함할 수 있다. 나아가, 상기와 같은 일련의 단계를 거쳐 산출되는 물러 매트릭스를 이용하여 상기 측정 대상체에 대한 소정의 특성을 산출하는 단계(S450)를 더 포함할 수도 있다.

[0086] 이때, 상기 레이저의 편광 특성을 변조함에 있어, 레이저의 편광 방향을 변경시키지 않는 빈 공간, 레이저의 편광 방향을  $\lambda/4$  만큼 변경시키는  $\lambda/4$  파장판 및 레이저의 편광 방향을  $\lambda/2$  만큼 변경시키는  $\lambda/2$  파장판을 포함하는 회전 판을 이용하여 상기 레이저를 3가지 편광 특성으로 변조할 수 있다.

[0087] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따르면 상기 3가지 편광 특성으로 변조되어 상기 측정 대상체로 조사된 후 산란되어 되돌아온 각 레이저에 대하여 각각 3가지 편광 특성으로 변조되어 분할된 수직 편광 레이저 및 수평 편광 레이저의 수신 강도를 이용하여 상기 물러 매트릭스에 대한 9개의 방정식을 구성하고,

$m_{11} - m_{22} + m_{33} - m_{44} = 0$ 의 방정식을 10번째 방정식으로 이용하여 상기 물러 매트릭스를 산출할 수 있다.

[0088] 이때, 상기 측정 대상체에 대한 후방산란 물러 매트릭스(M)는 앞서 살핀 바와 같이 상환 정리(reciprocal theorem)에 의하여 수학식 2와 같은 형태의 4 x 4 형렬을 이루게 된다.

[0089] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법에서는, 상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축과 상기 선형 편광의 레이저 혹은 산란되어 되돌아온 레이저의 편광 방향 간의 각도의 조합에 대하여, 상기 물러 매트릭스를 산출하기 위한 방정식에 대한 조건수를 고려하여 상기  $\lambda/4$  파장판 및  $\lambda/2$  파장판의 빠른 축의 조합을 선정함으로써, 물러 매트릭스 산출을 위한 측정 과정에서 다소간의 오차가 발생하더라도 산출되는 물러 매트릭스의 결과치에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 후방산란 매트릭스 측정 장치 및 방법을 구성하게 된다.

[0090] 이에 대하여, 도 5에서는  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$  파장판을 사용하고 각각 빠른 축의 각도를 레이저 조사부(110)에서 조사되는 레이저의 편광 방향과 측정 대상체에서 후방 산란되어 되돌아오는 레이저의 편광 방향 사이의 각도

$(\theta^{\lambda/4}, \theta^{\lambda/2})$ 의 조합에 따른 수학식 11의 A 매트릭스의 조건수(condition number)를 구한 것이다. 도 5에서 각 축은  $\lambda/2$  파장판 및  $\lambda/4$  파장판에 대한 상기 각도를 0 도에서 90 각도로 변화시키는 경우에 해당하며, 도 5에서 알 수 있듯이 조건수가 최대가 되는 조합이 존재하는 것을 알 수 있다.  $\lambda/2$  파장판 및  $\lambda/4$  파장판의 조합을 이용하는 경우 최적의 빠른 축 조합은  $(\theta^{\lambda/4}, \theta^{\lambda/2}) = (45, 30)$ ,  $(\theta^{\lambda/4}, \theta^{\lambda/2}) = (45, 60)$ ,

$(\theta^{\lambda/4}, \theta^{\lambda/2})=(60,30)$ ,  $(\theta^{\lambda/4}, \theta^{\lambda/2})=(60,60)$  [degree] 의 근처에서 선택될 수 있다. 상기와 같은 조합을 이용할 경우 측정값( $C_{i,j}$ )에 다소의 오차가 발생하더라도, 산출되는 물리 매트릭스의 오차를 최소화할 수 있도록 하여, 높을 정확도를 가지는 해, 즉 물리 매트릭스( $m_{11}, \dots, m_{44}$ )를 산출할 수 있게 된다.

[0091] 상기한 설명에서는 비록 한정된 실시예로서  $\lambda/2$  파장판 및  $\lambda/4$  파장판의 조합으로 원거리에 있는 산란 물질의 정렬 상태나, 비구형성을 산출하는 경우에 대하여 그 예를 보이고 있으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

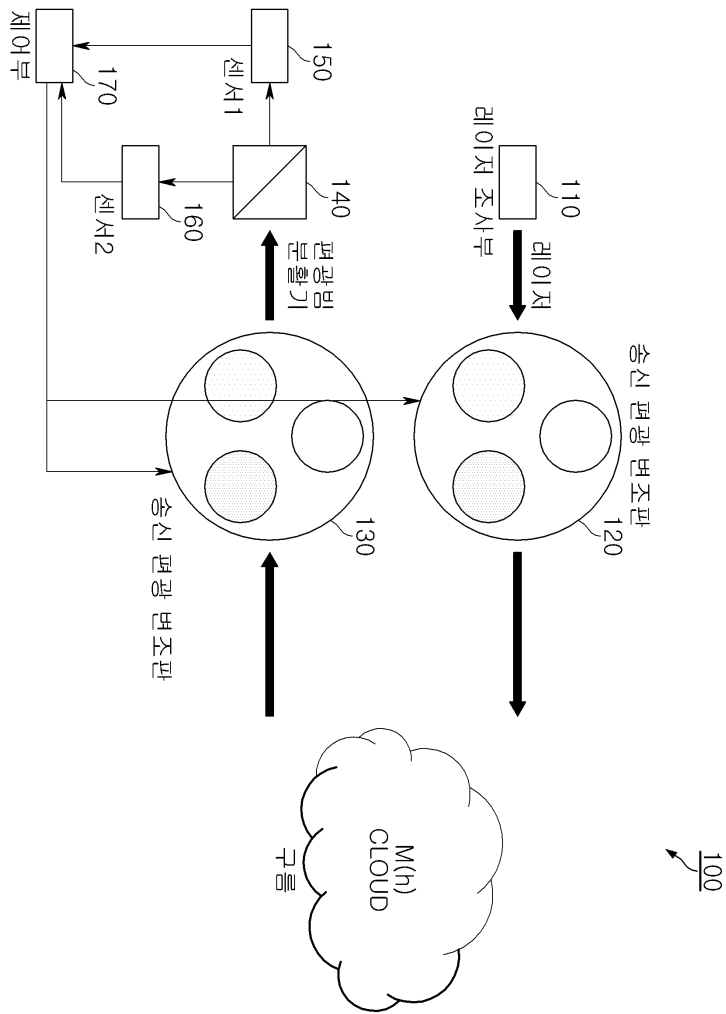
[0092] 따라서, 본 발명에 기재된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의해서 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

**부호의 설명**

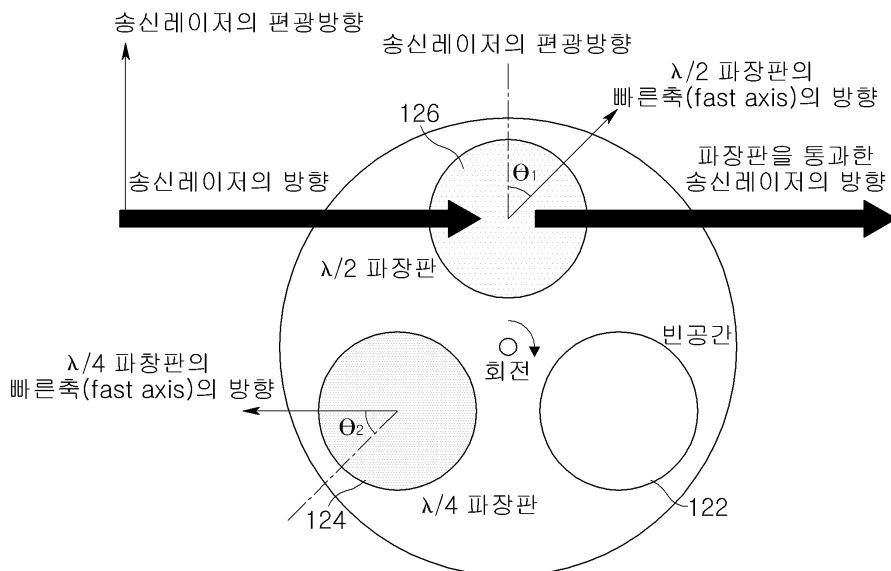
- [0093] 100 : 후방산란 매트릭스 측정 장치
- 110 : 레이저 조사부
- 120 : 송신편광변조부
- 130 : 수신편광변조부
- 140 : 편광빔 분할기
- 150 : 제1 센서
- 160 : 제2 센서
- 170 : 제어부
- 122, 132 : 무변조부
- 124, 134 :  $\lambda/4$  파장판
- 126, 136 :  $\lambda/2$  파장판

도면

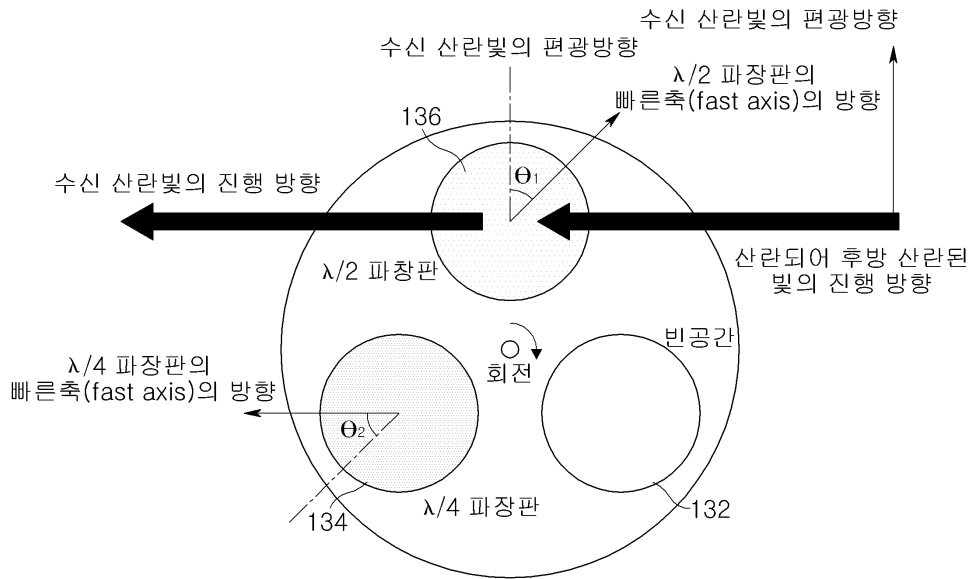
도면1



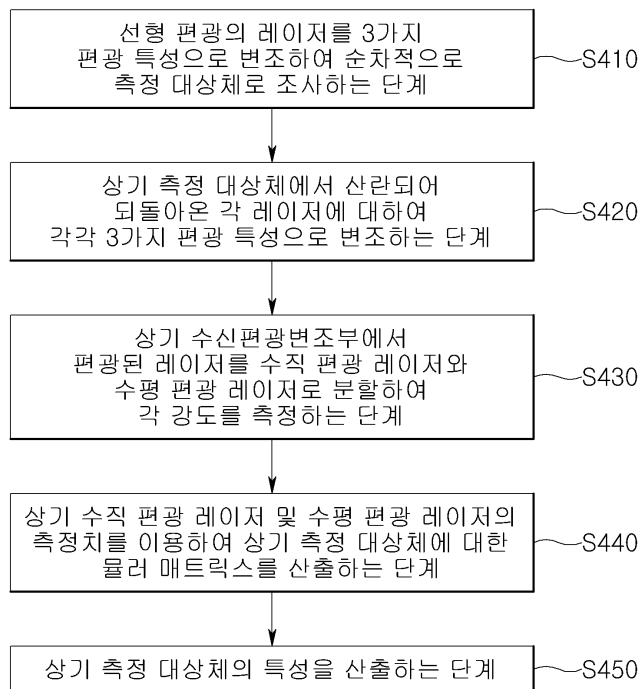
도면2



도면3



도면4



도면5

