



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0001286
(43) 공개일자 2012년01월04일

(51) Int. Cl.

G01J 4/00 (2006.01) G02B 21/18 (2006.01)
G01N 21/21 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0062001

(22) 출원일자 2010년06월29일

심사청구일자 2010년06월29일

(71) 출원인

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

조규만

서울특별시 강북구 인수봉로79길 93, 현대빌라 4-201 (수유동, 현대수유빌라)

박영규

인천광역시 남구 경원대로774번길 11, 한미아파트 704호 (주안동, 한미코스모스아파트)

(74) 대리인

김일환

전체 청구항 수 : 총 13 항

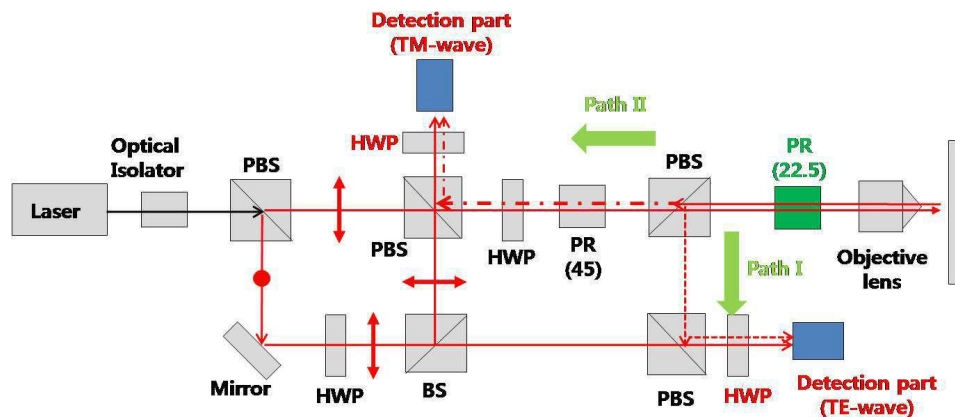
(54) 편광 다이버시티 광 간섭계 및 이를 이용한 현미경

(57) 요약

본 발명은 광 간섭 계 및 이를 이용한 현미경에 관한 것으로, 광원; 상기 광원에서 발생된 광을 분리시키는 빔 분리기; 상기 광을 편광 방향이 서로 수직한 광으로 분리하는 편광분리기; 및 상기 분리된 광을 검출하는 복수개의 광 검출기를 포함하는 광 간섭계에 있어서, 상기 광 검출기 중 적어도 어느 하나는 시료에 반사 또는 투과되어 나온 광이 편광 다이버시티(polarization diversity)가 있는 경우, 상기 편광 변화를 검출할 수 있는 편광 변화 검출기인 것을 특징으로 한다.

이와 같은 본 발명을 제공하면, 시료에 따른 편광변화를 검출할 수 있게 됨으로써, 관련 연구를 위한 각종의 분석장비 또는 다양한 장비에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 시료의 광학적 특성을 보다 정밀하게 측정할 수 있게 된다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

광원; 상기 광원에서 발생된 광을 분리시키는 빔 분리기; 상기 광을 편광 방향이 서로 수직한 광으로 분리하는 편광분리기; 및 상기 분리된 광을 검출하는 복수개의 광 검출기를 포함하는 광 간섭계에 있어서,

상기 광 검출기 중 적어도 어느 하나는 시료에 반사 또는 투과되어 나온 광이 편광 다이버시티(polarization diversity)가 있는 경우, 상기 편광 변화를 검출할 수 있는 편광 변화 검출기인 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광 간섭계는 호모다인(homodyne) 또는 헤테로다인(heterodyne) 간섭계인 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 헤테로다인 간섭계는,

헤테로다인 광원;

상기 광원에서 발생되어 분리된 기준빛을 검출하는 제1 광 검출수단(PD1)과;

상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된 신호빛 중 편광된 제1 주파수 신호빛을 시료에 주사시켜 검출하는 제2 광 검출수단(PD2)과;

상기 시료에 주사되어 나온 제1 주파수 신호빛이 편광 다이버시티(polarization diversity)가 있는 경우, 편광 분리시켜 편광변화를 검출하는 제3 광 검출수단(PD3)을 포함하되,

제2 주파수 신호빛을 상기 시료에 주사함이 없이 상기 제1 광 검출수단(PD1) 및 제2 광 검출수단(PD2)에서 검출하는 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 헤테로다인 간섭계는,

헤테로다인 광원과,

상기 광원에서 발생되어 분리된 기준빛을 검출하는 제1 광 검출수단(PD1)과,

상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된 신호빛 중 편광된 제1 주파수 신호빛을 시료에 주사시켜 검출하는 제2 광 검출수단(PD2)과;

상기 시료에 서 주사되어 나온 제1 주파수 신호빛의 편광을 소정의 각도로 회전 시키는 편광 회전기(PR);

상기 편광 회전기(PR)에서 편광 회전된 신호빛을 편광 분리시켜 상기 편광변화 검출하는 제3 광 검출수단(PD3)을 포함 하되,

제2 주파수 신호빛을 상기 시료에 주사함이 없이 상기 제1 광 검출수단(PD1) 및 제2 광 검출수단 (PD2)에서 검

출하는 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계.

청구항 5

제3항 또는 제4항에 있어서,

상기 기준빔, 제1 주파수 신호 빔 및 제2 주파수 신호빔을 각 광검출 수단으로 전송하기 위해, 적어도 하나의 빔 분리기, 편광 빔 분리기(PBS) 및 편광판을 포함하는 것을 특징으로 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계.

청구항 6

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항의 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계;

시료대가 배치되는 시료대를 구비하고, 상기 시료대를 신호빔의 진행 방향에 대해 수직인 두 방향으로 이동시키는 XY 스캐너;

상기 XY 스캐너의 이동을 제어하는 스캐너 구동장치;

상기 광 간섭계로부터 제공되는 신호빔을 시료의 표면으로 집광시키는 집광시키거나, 시료에서 나오는 빛을 수신하는 집광/시준 장치; 및

상기 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계로부터 출력되는 I-신호 및 Q-신호를 입력받아 시료의 표면의 정보를 추출하거나, 상기 스캐너 구동 장치로 XY 스캐너의 이동을 제어하는 이동 제어 신호를 전송하는 컴퓨터를 포함하는 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 주사 현미경의 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계는 신호빔이 시료의 표면에서 반사 또는 투과하는 방식인 것을 특징으로 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계는 I/Q 복조기를 구비하고, 상기 I/Q 복조기는 기준빔에 대한 전기적 신호와 시료에 의해 반사되거나 투과된 신호빔에 대한 전기적 신호가 입력되며, 이들에 대한 I-신호와 Q-신호가 출력 되는 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계는 발란스드 검출(Balanced Detection) 방식을 이용하는 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 10

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항의 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계;

시료대가 배치되는 시료대를 구비하고, 상기 시료대를 신호빛의 진행 방향에 대해 수직인 두 방향으로 이동시키는 XY 스캐너;

상기 XY 스캐너의 이동을 제어하는 스캐너 구동장치;

상기 시료대를 탐지빛의 진행 방향과 동일한 방향으로 이동시키는 상하 이동 기구;

상기 상하 이동 기구의 이동을 제어하는 미세 거리 조절 장치;

상기 헤테로다인 광 간섭계로부터 제공되는 신호빛을 시료의 표면으로 집광시키는 집광시키거나, 시료에서 나오는 빛을 시준하는 집광/시준 장치; 및

상기 스캐너 구동 장치로 XY 스캐너의 이동을 제어하는 이동 제어 신호를 전송하거나, 상기 미세 거리 조절 장치로 상하 이동 기구의 이동을 제어하는 신호를 전송하며, 상기 I /Q 간섭계로부터 제공되는 I-신호 및 Q-신호를 입력받아 시료의 표면 또는 내부에 대한 정보를 추출하는 컴퓨터를 구비하는 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계를 이용한 복합 기능 현미경.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 컴퓨터는 상기 상하 이동 기구를 임의의 위치에 고정시킨 후 XY 스캐너를 구동하여 시료의 제1 단층에 대하여 스캐닝한 후, 상기 상하 이동 기구를 구동시켜 상기 시료대를 이동시킨 후 상기 XY 스캐너를 구동하여 시료의 제2 단층에 대하여 스캐닝하며, 이러한 과정을 반복적으로 수행하여 시료에 대한 다단층 스캐닝을 수행하는 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계를 이용한 복합 기능 현미경.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 컴퓨터는 시료의 특정 위치에 탐지빛의 초점을 맺히게 하여 기준 위상을 설정한 후, 상기 시료를 XY 방향으로 스캐닝할 때 상기 기준 위상이 변하지 않도록 하기 위한 되먹임 조절용 오차 신호를 미세 거리 조절 장치로 제공하며, 상기 되먹임 조절용 오차 신호에 따라 집광/시준 장치와 시료와의 간격을 조절하며, XY 위치에 따른 되먹임 조절용 오차 신호를 이용하여 시료의 표면의 높낮이를 측정하는 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계를 이용한 복합 기능 현미경.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 컴퓨터는 스캐닝 결과에서 진폭 신호가 가장 큰 지점을 찾고, 상기 진폭 신호가 가장 큰 지점과 위상이 같은 지점들을 연결하여 표면 형상에 대한 등고선 또는 등고면을 획득하는 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계를 이용한 복합 기능 현미경.

명세서

기술 분야

본 발명은 광 간섭계 및 이를 이용한 현미경에 관한 것으로, 보다 상세하게는 편광 다이버시티(polarization diversity)에 의한 편광변화를 검출할 수 있는 편광 다이버시티 광 간섭계 및 이를 이용한 현미경에 관한 것이다

[0001]

다.

배경 기술

[0002] 간섭식 측정장치는 탐지빔(probe beam)과 기준빔(reference beam)을 빔살 가르개(Beamsplitter, BS)를 이용하여 합쳐주고 두 개의 출력단에서 나오는 빛의 세기를 각각 별도의 광검출기로 측정하는 장치이다. 이때 각각의 광검출기에서 출력되는 전기 신호를 광신호라고 하고, 탐지빔과 기준빔의 주파수가 같을 경우 이를 호모다인(homodyne) 간섭계라고 하며, 주파수가 다를 경우 이를 헤테로다인(heterodyne) 간섭계라고 한다.

[0003] 호모다인 간섭계의 경우, BS의 두 개의 출력단으로 나오는 빛의 세기가 탐지빔과 기준빔의 위상차이에 따라 변하며, 만약 한쪽 출력단으로 나오는 빛이 증강간섭이 일어나는 경우 다른 쪽 출력단으로 나오는 빛은 소멸간섭을 일으킨다. 즉, 각각의 출력단으로 나오는 빛의 간섭신호는 180도 위상차이를 갖는다. 따라서 두 개의 광신호를 차동증폭기로 빼어 줌으로써 각각의 광신호에 실려있는 서로 상관된 잡음(correlated noise)은 제거되고 광신호는 두 배로 커져 신호 대 잡음비를 높일 수 있으며, 이와 같은 측정방법을 balanced detection 방법이라고 한다. 차동증폭기로부터 출력되는 신호는 [수학식 1]로 나타난다.

수학식 1

$$v_{diff} = R\sqrt{I_s}\sqrt{I_{LO}}\cos(\phi_0 + \phi_m)$$

[0004]

[0005] 여기서 I_s 와 I_{LO} 는 각각 탐지빔과 기준빔의 세기를 나타내며, ϕ_m 과 ϕ_0 는 각각 측정하고자 하는 시료의 국부적인 구조나 광학적 특성 때문에 탐지 빔에 유도되는 위상 값과 이를 제외한 간섭계에서 탐지빔과 기준빔 사이의 광학적인 경로차이에 의한 위상 차이를 나타낸다.

[0006] 주사 현미경은 주사 과정에서 시료의 구조변화 등에서 오는 국부적인 광학적 특성의 변화를 최적으로 측정하여 이로부터 시료의 표면이나 내부구조 형상을 복원하는 장치를 말하며 따라서 시료 또는 탐지빔을 주사해 가면서 ϕ_m 을 최적으로 측정해야 한다. 대개의 경우 ϕ_m 의 크기가 매우 작기 때문에 만약 되먹임(feedback) 장치를 이용하여 ϕ_0 가 항상 $\pi(2n+1)/2$, $n = 0, 1, 2, \dots$ 가 되게 탐지빔과 기준빔 사이의 경로차이를 조절하여 주면 [수학식 1]은 [수학식 2]와 같이 쓸 수 있다.

수학식 2

$$v_{diff} = R\sqrt{I_s}\sqrt{I_{LO}}\sin\phi_m \approx R\sqrt{I_s}\sqrt{I_{LO}}\phi_m$$

[0007]

[0008] 따라서 간섭신호의 크기는 ϕ_m 에 비례하게 되어 주사를 통해 시료의 국부적인 위상변화를 매핑(mapping)시킬 수 있다. 그러나 탐지빔의 세기와 위상이 동시에 변하는 경우, 즉, 예를 들어, 표면의 기하학적 구조와 재질이 동시에 변하는 경우 이를 구분해서 볼 수가 없다는 단점이 있어 동일한 재질로 구성된 시료에 대한 분석에는 적합하나 일반적인 시료의 복합적인 현미경 분석에는 한계가 있다.

[0009] 헤테로다인 간섭계의 경우 탐지빔과 기준빔의 주파수가 다르기 때문에 각각의 출력단에서 검출된 광신호는 [수학식 3]과 같이 주어진다.

수학식 3

$$v_{diff} = R \sqrt{I_S} \sqrt{I_{LO}} \cos(\Delta\omega t + \phi_0 + \phi_m)$$

[0010]

[0011]

여기서, $\Delta\omega$ 탐지빛과 기준빛의 주파수 차이를 나타낸다. 즉, 간섭신호는 두 빛의 차이 주파수에 해당하는 RF 또는 마이크로파 영역의 맥놀이 신호이며, 표면에 의해 탐지빛에 유도된 위상변화나 진폭 변화를 측정하기 위해서는 RF에서 사용되는 전형적인 신호처리 기술들을 사용할 수 있다.

[0012]

간섭계에서 탐지빛에 유도된 위상 및 진폭 변화를 구분해서 측정할 수 있는 간섭계에 대한 연구가 그동안 본 발명의 발명자 그룹에 의해 진행되어 왔다. 호모다인 I/Q-간섭계의 경우 탐지빛과 기준빛의 편광상태를 이용하여 두 개의 간섭계가 동일한 탐지빛과 기준빛 경로를 가지면서도 간섭신호 사이에 서로 90도의 위상 차이를 갖는다. 따라서 한 간섭계의 신호가 [수학식 4]와 같이 나타난다.

수학식 4

$$v_I = \frac{R}{2} \sqrt{I_0} \sqrt{I_{LO}} \cos(\phi_0 + \phi_m)$$

[0013]

[0014]

다른 간섭계의 신호는 [수학식 5]가 되어 광신호에 대한 I/Q 복조(demodulation)를 할 수 있다. 즉, 탐지빛에 유도된 위상은 [수학식 6]으로부터 구할 수 있으며, 탐지빛의 크기 변화는 [수학식 7]로 주어진다.

수학식 5

$$v_Q = \frac{R}{2} \sqrt{I_0} \sqrt{I_{LO}} \sin(\phi_0 + \phi_m)$$

[0015]

수학식 6

$$\phi_0 + \phi_m = \tan^{-1} \frac{v_Q}{v_I}$$

[0016]

수학식 7

$$\sqrt{I_0} \sqrt{I_{LO}} = \sqrt{v_I^2 + v_Q^2}$$

[0017]

[0018]

따라서 I/Q-간섭계를 사용 할 경우 탐지빛에 유도된 위상변화와 크기 변화를 동시에 구분하여 측정할 수 있다.

[0019]

이러한 간섭계에 대한 자세한 내용과 이용한 표면 현미경에 대한 연구 결과가 참고문헌 1(Heseong Jeong, Jong-Hoi Kim, Kyuma nn Cho, "Complete mapping of complex reflection coefficient of a surface using ascanning homodyne mu ltiport interferometer.", Optics communication, Vol. 204, pp. 45- 52 (2002))에 나와 있다.

[0020]

여기서 표면 분석은 반사형으로 이루어졌으며 탐지빛을 표면의 한 지점에 집광시킨 후 시료를 x, y-축 방향으로

스캔하면서 탐지빛에 대한 국부적인 위상과 크기의 변화를 매핑(mapping)시킴으로써 표면의 구조적, 재질적 특성을 분석할 수 있었다. 이와 같은 현미경은 기존의 간섭계를 이용한 현미경이 갖는 기능을 크게 개선한 것으로 본 발명자 그룹에서는 참고문헌 1에서 이러한 현미경을 이용하여 기존의 현미경으로 구분할 수 없었던 재질적인 손상을 찾을 수 있다는 것을 보였다.

[0021] 전술한 연구 결과에서 볼 수 있듯이, 호모다인 간섭계의 경우 세 개의 PBS와 4개의 광검출기로 구성되어 있다. 따라서 간섭계가 제대로 작동하기 위해서는 매우 어렵고 전문적인 기술을 필요로 하는 정렬과정을 필요로 한다. 본 발명의 발명자 그룹에서는 같은 기능을 가지면서도 탐지빛에 유도된 위상을 효과적으로 측정할 수 있으며 간단한 광학계 구성 즉, balanced detection 방법외에 하나의 탐지빛 측정에 두 개의 Photo Diode(PD)만으로 구성하고 I/Q 복조화기 앞단에 High-pass filter 혹은 band-pass filter를 사용하여 헤테로다인 간섭계 기술을 개발하였다.

[0022] 도 1과 같이 서로 주파수가 다른 탐지빛과 기준빛을 BS를 이용하여 간섭시키고 이를 광검출기를 이용하여 전기 신호로 바꾸어 주면, 수학식 3과 같이 탐지빛에 실려 있는 진폭과 위상변화에 대한 정보가 RF 또는 마이크로파 대역으로 하향 변환(down conversion)되므로, I/Q-복조방법을 적용할 경우 탐지빛에 유도된 위상과 크기변화를 쉽게 구분하여 측정할 수 있다. 본 발명의 발명자 그룹에서는 I/Q-복조기(복조기)를 사용하여 위상신호를 측정하여 이를 고감도 변위센서에 적용하는 연구를 수행한 바 있으며, 그 결과가 참고문헌 2(문 준, "헤테로다인 I/Q 간섭계를 이용한 하이브리드형 변위 센서", 서강대학교 (2003))에 기재되었다.

[0023] 이처럼 I/Q 간섭계를 이용한 스캐닝 현미경들은 시료의 표면 또는 내부로부터 반사되거나 이를 투과한 탐지빛에 유도된 위상 변화와 크기 변화를 동시에 구분하여 이미지화할 수 있으나, 시료의 특성에 따라 복굴절(birefringence) 및 광학활성(optical activity) 등의 특성 때문에 입사된 빛이 시료에 반사되거나 투과되어 나오는 경우 편광 다이버시티(Polarization Diversity)에 의해 편광 변화되어 나타나는 경우에는 상술한 구성으로 편광변화를 감지할 수 없다는 단점이 있다.

[0024] 또한, 이러 한 시료의 편광변화 특성은 복굴절 특성 물질, 광학활성 또는 물질이 자성체이거나 초전도체와 같은 물질내 자기화(magnetization) 요소들이 있는 경우에는 자성의 변화에 따른 광학적 특성을 관찰하고 연구 또는 응용하는데 있어서 매우 중요한 문제이나, 이에 대한 광학적 측정을 복합적으로 할 수 있는 장치가 없는 실정이다.

[0025] 또한, I/Q 간섭계를 이용한 스캐닝 현미경들은 시료의 표면 또는 내부로부터 반사되거나 이를 투과한 탐지빛에 유도된 위상 변화와 크기 변화를 동시에 구분하여 이미지화할 수 있게 되었다. 그런데, 이러한 현미경들도 위상 변화와 크기 변화가 동시에 일어날 수 있는 여러 가지 요인이 있기 때문에 현재의 스캐닝 방법들로는 정확하게 시료의 표면 또는 내부 구조를 정성적으로 밝히는데 한계를 갖고 있다.

[0026] 예컨대, 깊이에 변화가 있는 구조를 갖는 시료의 표면에 대하여 현미경 분석을 함에 있어서, 부분적으로 재질이 변하지 않더라도 탐지빛의 초점이 영역 1에 초점이 맞춰진 경우 스캐닝 과정에서 영역 2로 넘어가게 되면 영역 2에서는 표면의 위치가 변하게 되므로 깊이 변화에 의해 탐지빛의 진폭이 변하여 위상과 진폭이 동시에 변할 수 있다. 따라서, I/Q간섭계를 이용한 스캐닝 현미경이더라도 시료를 분석하는데 한계가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0027] 상술한 문제를 해결하기 위한 본 발명이 해결하려는 과제는 시료에 따른 편광변화를 검출하여, 관련 연구를 위한 각종의 분석장비 또는 다양한 장비에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 시료의 광학적 특성을 보다 정밀하게 측정할 있도록 하는 것이다. 또한, 다양한 방법으로 시료의 표면 및 내부의 구조 및 재질에 대한 분석이 용이하도록 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0028] 상술한 문제를 해결하기 위한 본 발명의 제1 특징은 레이저 광원; 상기 레이저 광원에서 발생된 광을 분리시키는 빔 분리기; 상기 레이저 광을 편광 방향이 서로 수직인 광으로 분리하는 편광분리기; 및 상기 분리된 광을 검출하는 복수개의 광 검출기를 포함하는 광 간섭계에 있어서, 상기 광 검출기 중 적어도 어느 하나는 시료에 반사 또는 투과되어 나온 광이 편광 변화에 따른 편광 다이버시티(polarization diversity)가 있는 경우, 상기 편광 변화를 검출할 수 있는 편광 변화 검출기인 것이다.

- [0029] 여기서, 상기 광 간섭계는 호모다인(homodyne) 또는 헤테로다인(heterodyne) 간섭계인 것을 특징으로 하는 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계.
- [0030] 또한, 헤테로다인 간섭계는 헤테로다인 레이저 광원과, 상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된 기준빔을 검출하는 제1 광 검출수단(PD1)과, 상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된 신호빔 중 편광된 제1 주파수 신호빔을 시료에 주사시켜 검출하는 제2 광 검출수단(PD2)과, 상기 시료에 주사되어 나온 제1 주파수 신호빔이 편광 다이버시티(polarization diversity)가 있는 경우, 편광 분리시켜 상기 편광변화를 검출하는 제3 광 검출수단(PD3)을 포함하되, 제2 주파수 신호빔을 상기 시료에 주사함이 없이 상기 제1 광 검출수단(PD1) 및 제2 광 검출수단(PD2)에서 검출하는 것이다.
- [0031] 그리고, 본 발명의 제2 특징은 광 간섭계에 있어서, 헤테로다인 레이저 광원; 상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된 기준빔을 검출하는 제1 광 검출수단(PD1)과; 상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된 신호빔 중 편광된 제1 주파수 신호빔을 시료에 주사시켜 검출하는 제2 광 검출수단(PD2)과; 상기 시료에서 주사되어 나온 제1 주파수 신호빔의 편광을 소정의 각도로 회전 시키는 편광 회전기; 상기 편광 회전기에서 편광 회전된 신호빔을 편광 분리시켜 상기 편광변화 검출하는 제3 광 검출수단(PD3)을 포함하되, 제2 주파수 신호빔을 상기 시료에 주사함이 없이 상기 제1 광 검출수단(PD1) 및 제2 광 검출수단(PD2)에서 검출하는 것이다.
- [0032] 여기서, 상기 기준빔, 제1 주파수 신호빔 및 제2 주파수 신호빔을 각 광검출 수단으로 전송하기 위해, 적어도 하나의 빔 분리기, 편광 빔 분리기(PBS) 및 편광판(HWP)을 포함하는 것이 바람직하고, 상기 헤테로다인 레이저 광원은 듀얼 모드 레이저 광원인 것이 바람직하다.
- [0033] 그리고, 본 발명의 제3 특징으로서, 주사 현미경은 상기 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계; 시료대가 배치되는 시료대를 구비하고, 상기 시료대를 신호빔의 진행 방향에 대해 수직한 두 방향으로 이동시키는 XY 스캐너; 상기 XY 스캐너의 이동을 제어하는 스캐너 구동장치; 상기 광 간섭계로부터 제공되는 신호빔을 시료의 표면으로 집광시키는 집광시키거나, 시료에서 나오는 빛을 시준하는 집광/시준 장치; 및 상기 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계로부터 출력되는 I-신호 및 Q-신호를 입력받아 시료의 표면의 정보를 추출하거나, 상기 스캐너 구동 장치로 XY 스캐너의 이동을 제어하는 이동 제어 신호를 전송하는 컴퓨터를 포함한다.
- [0034] 여기서, 바람직하게는 상기 주사 현미경의 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계는 신호빔이 시료의 표면에서 반사 또는 투과하는 방식인 것일 수 있고, 상기 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계는 I/Q 복조기를 구비하고, 상기 I/Q 복조기는 기준빔에 대한 전기적 신호와 시료에 의해 반사되거나 투과된 신호빔에 대한 전기적 신호가 입력되며, 이들에 대한 I-신호와 Q-신호가 출력되는 것일 수 있다.
- [0035] 본 발명의 제4 특징으로서, 복합기능 현미경은 상기 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계는 밸런스드 검출(Balanced Detection) 방식을 이용하는 것이 바람직하고, 제1항 내지 제3항 중 어느 한 항의 편광 다이버시티(polarization diversity) 광 간섭계; 시료대가 배치되는 시료대를 구비하고, 상기 시료대를 신호빔의 진행 방향에 대해 수직한 두 방향으로 이동시키는 XY 스캐너; 상기 XY 스캐너의 이동을 제어하는 스캐너 구동장치; 상기 시료대를 탐지빔의 진행 방향과 동일한 방향으로 이동시키는 상하 이동 기구; 상기 상하 이동 기구의 이동을 제어하는 미세 거리 조절 장치; 상기 광 간섭계로부터 제공되는 신호빔을 시료의 표면으로 집광시키는 집광시키거나, 시료에서 나오는 빛을 시준하는 집광/시준 장치; 및 상기 스캐너 구동 장치로 XY 스캐너의 이동을 제어하는 이동 제어 신호를 전송하거나, 상기 미세 거리 조절 장치로 상하 이동 기구의 이동을 제어하는 신호를 전송하며, 상기 I/Q 간섭계로부터 제공되는 I-신호 및 Q-신호를 입력받아 시료의 표면 또는 내부에 대한 정보를 추출하는 컴퓨터를 포함한다.
- [0036] 여기서, 상기 컴퓨터는 상기 상하 이동 기구를 임의의 위치에 고정시킨 후 XY 스캐너를 구동하여 시료의 제1 단층에 대하여 스캐닝한 후, 상기 상하 이동 기구를 구동시켜 상기 시료대를 이동시킨 후 상기 XY 스캐너를 구동하여 시료의 제2 단층에 대하여 스캐닝하며, 이러한 과정을 반복적으로 수행하여 시료에 대한 다단층 스캐닝을 수행하는 것이 바람직하다.
- [0037] 또한, 상기 컴퓨터는 시료의 특정 위치에 탐지빔의 초점을 맺히게 하여 기준 위상을 설정한 후, 상기 시료를 XY 방향으로 스캐닝할 때 상기 기준 위상이 변하지 않도록 하기 위한 되먹임 조절용 오차 신호를 미세 거리 조절 장치로 제공하며, 상기 되먹임 조절용 오차 신호에 따라 집광/시준 장치와 시료와의 간격을 조절하며, XY 위치에 따른 되먹임 조절용 오차 신호를 이용하여 시료의 표면의 높낮이를 측정하는 것이 바람직하다.

[0038] 더하여, 바람직하게는 상기 컴퓨터는 스캐닝 결과에서 진폭 신호가 가장 큰 지점을 찾고, 상기 진폭 신호가 가장 큰 지점과 위상이 같은 지점들을 연결하여 표면 형상에 대한 등고선 또는 등고면을 획득하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0039] 종래의 일반적인 광 간섭계에서 산출 및 분석할 수 없었던, 시료에 따른 편광변화를 검출할 수 있게 됨으로써, 관련 연구를 위한 각종의 분석장비 또는 다양한 장비에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 시료의 광학적 특성을 보다 정밀하게 측정할 수 있게 된다.

[0040] 또한, 시료로부터 투과 또는 반사된 신호빛에 유도 되는 위상과 진폭변화를 동시에 측정하기 때문에, 시료의 표면 및 내부의 구조 및 재질에 대한 분석이 용이 하다.

[0041] 또한, 현미경에 다 단층 및 일정위상 스캐닝 방법을 적용하여 시료의 표면 또는 내부구조의 분석 능력을 크게 개선하였다. 다 단층 스캐닝 방법에서는 집광장치의 초점 위치 또는 시료의 위치를 일정한 간격으로 광축(z-축) 방향으로 이동시키면서 각각의 위치에서 xy-방향으로 스캐닝 시킴으로써, 즉 시료를 층별로 스캐닝 시킴으로써 각 층에 대한 국부적인 위상과 진폭 변화를 영상화 시키고 이를 분석하여 시료의 표면 또는 내부구조를 보다 정확하고 복합적으로 분석할 수 있는 기술이며, 일정위상 스캐닝 방법은 되먹임 위치조절 장치를 이용하여 간섭계로부터 얻은 위상변화 신호가 스캐닝 시키는 동안에 항상 일정한 값을 유지하게 하여 집광장치의 초점이 항상 시료의 표면에 위치하게 하는 기술로 위치조절에 필요한 오차신호(error signal)로 부터 표면의 입체구조를 알 수 있으며 탐지빛의 진폭변화로부터 표면의 재질의 변화를 알 수 있다.

[0042] 그리고, 본 발명에서는 스캐닝 편광 다이버시티 광 간섭계를 이용한 복합 기능 현미경 장치의 기능을 더욱 확장시키기 위해 다 단층 스캐닝과 일정위상 스캐닝 방법을 적용한 것으로 다 단층 스캐닝의 경우 광축(z-축) 방향으로 일정한 스텝으로 이동시켜 가면서 각 스텝마다 x-y 방향으로 스캐닝 함으로써 시료의 기하학적 구조 및 재질에 대한 정보를 좀 더 정확하게 얻을 수 있는 기술이며, 일정위상 스캐닝 방법의 경우는 I/Q-간섭계로부터 얻은 위상값이 항상 일정한 값으로 유지되도록 시료표면과 집광장치 사이의 간격을 되먹임(feedback) 위치조절 장치를 이용하여 조절해가며 스캐닝하는 기술이다. 전자의 경우 반사와 투과 모드 모두에 적용될 수 있으며 후자의 경우는 주로 반사 모드에 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0043] 도 1은 일반적인 두 개의 광 검출수단과 차동증폭기를 이용한 balanced detection 방법을 설명하는 도면,
 도 2는 본 발명에 따른 실시예로서, 편광 다이버시티(polarization diversity) 호모다인 광 간섭계의 구성을 나타낸 도면,
 도 3은 본 발명에 따른 또 다른 실시예로서, 편광 다이버시티 호모다인 광 간섭계의 다른 예의 구성을 나타낸 도면,
 도 4는 본 발명에 따른 실시예로서, 편광 다이버시티(polarization diversity) 헤테로다인 광 간섭계의 구성을 예시한 도면,
 도 5는 본 발명에 따른 또 다른 실시예로서, 편광 다이버시티(polarization diversity) 헤테로다인 광 간섭계의 구성을 예시한 도면,
 도 6은 본 발명에 따른 편광변화 광 간섭계에서 레이저 광이 시료면에 입사되는 경우 경로 및 편광상태를 나타낸 개략도,
 도 7은 본 발명에 따른 편광변화 광 간섭계에서 레이저 광이 시료에서 광 검출수단으로 전송되는 경로 및 편광상태를 나타낸 개략도,
 도 8은 본 발명에 따른 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계를 이용한 주사 현미경의 구성을 예시한 도면,
 도 9는 본 발명에 따른 또 다른 실시예로서, 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계를 이용한 복합기능 현미경의 구성을 예시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0044] 이하에서 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0045] 도 2는 본 발명에 따른 실시예로서, 편광 다이버시티(polarization diversity) 호모다인 광 간섭계의 구성을 나타낸 도면이다. 본 발명은 상술한 바와 같이, 광원; 상기 광원에서 발생된 광을 분리시키는 빔 분리기; 상기 광을 편광 방향이 서로 수직한 광으로 분리하는 편광분리기; 및 상기 분리된 광을 검출하는 복수개의 광 검출기를 포함하는 광 간섭계에 있어서, 상기 광 검출기 중 적어도 어느 하나는 시료에 반사 또는 투과되어 나온 광이 편광 다이버시티(polarization diversity)가 있는 경우, 상기 편광 변화를 검출할 수 있는 편광 변화 검출기를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0046] 여기서, 광원은 레이저 광원이 바람직하지만, 그밖에 다양한 광원이 적용될 수 있음은 물론이다. 이하에서 설명하는 실시예에서는 레이저 광원을 적용하여 설명하기로 한다. 그리고, 상기 광 간섭계는 호모다인(homodyne) 또는 헤테로다인(heterodyne) 간섭계인 것이 바람직하다.
- [0047] 즉, 본 발명에서는 시료면에서 편광변화가 있을 경우, 시료와의 상호작용으로 인하여 신호빛의 편광 상태가 TM 편광에서 편광각도가 회전하거나 타원 편광상태로 변화되어 반사된 신호빛은 편광 빔 분리기(PBS)를 지나면서 TM(P파) 및 TE(S파) 편광 성분으로 나누어져 각각이 광 검출수단으로 각각 입사하여 간섭신호를 만들어 낸다. 이때 이중 어느 하나의 광 검출수단에서 발생한 성분은 polarization diversity에 의한 변화만을 기록하게 됨으로써, 종래의 일반적인 광 간섭계에서 산출 및 분석할 수 없었던, 시료에 따른 편광변화를 검출할 수 있게 된다.
- [0048] 도 2는 본 발명의 실시예로서, 편광 변화를 검출할 수 있는 호모다인 광 간섭계의 구성을 나타낸 도면으로서, 레이저 광원에서 발생된 광을 편광 분리를 통해 서로 수직 편광상태의 광을 분리시키고, 분리된 광 중 어느 하나의 광을 시료로 입사시키고, 다른 하나의 광은 시료에 입사함이 없이 광 검출기로 전송되는 구조이다. 여기서, 시료에 입사되는 광은 시료에 반사 또는 투과시켜 나오는 광으로부터, 시료에 따른 편광변화가 있는 경우 'path II'를 따르고 TM-wave 검출기로 전송하고, 시료에 입사시키지 않은 다른 광을 빔분리기를 통하여 다시 TM-wave 검출기로 광 전송을 시키게 되면 두 개의 광신호에 의한 간섭신호를 통해 시료의 polarization diversity에 의한 편광 변화를 검출할 수 있게 된다.
- [0049] 더하여, 상술한 바와 같이 호모다인 간섭계의 경우, BS의 두 개의 출력단으로 나오는 빛의 세기가 위상차이에 따라 변하며, 만약 한쪽 출력단으로 나오는 빛이 증강간섭이 일어나는 경우 다른 쪽 출력단으로 나오는 빛은 소멸간섭을 일으킨다.
- [0050] 즉, 각각의 출력단으로부터 나오는 빛의 간섭신호는 180도 위상 차이를 갖기 때문에, 두 개의 광신호를 차동증폭기로 빼어 줌으로써 각각의 광신호에 실려있는 서로 상관된 잡음(correlated noise)은 제거되고 광신호는 두 배로 커져 신호 대 잡음비를 높일 수 있는 간섭계이다. 이와 같은 측정방법을 balanced detection 방법이라고 한다.
- [0051] 도 3은 본 발명에 따른 또 다른 실시예로서, 편광 다이버시티 호모다인 광 간섭계의 다른 예의 구성을 나타낸 도면이다. 도 2의 실시예와는 달리, 2개의 광 검출기를 통한 간섭신호의 검출이 아니라, 4개의 검출기(PD)를 통하여 간섭신호를 검출하고 분석하는 장치를 나타낸 도면이다. 즉, 4개의 광검출기(PD)로부터 획득한 신호는 1,2 및 3,4를 차동증폭(balanced detection) 혹은 4개의 신호를 조합하여 광학적 I, Q 신호를 획득하게 된다.
- [0052] 이와 같이 본 발명에서는 도2 및 도 3에 예시된 실시예에 한정된 것은 아니고 광 간섭계로서 호모다인의 특성을 갖는 다양한 광학 소자의 배열을 통해 간섭신호를 검출 및 분석을 할 수 있음은 물론이다. 이에 더하여 본 발명은 각 검출기 중 어느 하나를 시료에 따른 편광 다이버시티(polarization diversity)에 의한 편광 변화를 검출할 수 있는 검출기로 사용하는데 그 핵심적 특징이 있다.
- [0053] 도 4는 본 발명에 따른 실시예로서, 편광 다이버시티(polarization diversity) 헤테로다인 광 간섭계의 구성을 예시한 도면이다. 도 4에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 광 간섭계는, 헤테로다인 레이저 광원과, 상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된 기준빛을 검출하는 제1 광 검출수단(PD1)과, 상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된

신호빔 중 편광된 제 1 주파수 신호빔을 시료에 주사시켜 검출하는 제2 광 검출수단(PD2)과, 상기 시료에 주사되어 나온 제1 주파수(W1) 신호빔이 편광 다이버시티(polarization diversity)가 있는 경우, 편광 분리시켜 상기 편광변화를 검출하는 제3 광 검출수단(PD3)을 포함하되, 제2 주파수(W2) 신호빔을 상기 시료에 주사함이 없이 상기 제1 광 검출수단(PD1) 및 제2 광 검출수단(PD2)에서 검출하는 것을 특징으로 한다.

- [0054] 보다 구체적으로 설명하면, 도 4에 나타난 바와 같이, 레이저 광원에서 2개의 주파수를 갖는 빛이 입사되고, 반사된 광의 광원으로의 유입을 방지하기 위한 광학 절연체(Optical Isolator)를 통과하여 빔 분리기에서 기준빔과 신호빔으로 분리된다.
- [0055] 기준빔은 편광판(Pol: polarizer)에 의해 편광된 빛을 제1 광 검출수단(PD1)에서 검출하게 되고, 신호빔은 반파장판(HWP)를 통과하여 편광 방향을 180도 변경하고, 편광 빔 분리기(PBS)를 통하여 제1 주파수(W1)를 갖는 신호빔은 투과시키고, 제2 주파수(W2)를 갖는 신호빔은 수직으로 반사시켜 분리시킨다.
- [0056] 먼저, 제1 주파수 신호빔은 시료의 반향으로 직진하게 되고, 상기 제1 주파수 신호빔이 시료를 통하여 투과 또는 반사되어 나온 빛은 다시 편광 빔 분리기(PBS)에 의해 반사되어 제2 광 검출수단(PD2)에서 검출하게 된다.
- [0057] 그리고, 본 발명의 특징에 해당하는 것으로, 복굴절 특성 및 광학활성을 갖는 시료에서 투과 또는 반사되어 나온 제1 주파수 신호빔은 도 2에 나타난 바와 같이, 'path I'의 경로를 따른 것이 아니라, 편광 빔 분리기(PBS)를 통과하고 다시 편광 빔 분리기(PBS)에서 반사되어 제3 광 검출수단(PD3)에 의해 검출하게 된다.
- [0058] 여기서, 'path II' 경로를 따르는 제1 주파수 신호빔은 편광 빔 분리기(PBS) 사이에 편광 회전자(PR: Polarization Rotator)에 의해 45도 회전 편광시켜 제3 광 검출수단(PD3)으로 전송하게 되는데, 이는 시료에 의해 편광변화가 일어나게 되는 경우, 제2 주파수 신호빔과 상대적인 신호 분석을 위해 편광방향을 맞추기 위함이다.
- [0059] 즉, 최초 상태에서 신호 빔을 모두 제2 광 검출수단(PD2) 방향으로만 입사하여 간섭시키고 제3 광 검출수단(PD3) 방향으로서는 시료에서 편광변화가 발생하여 'path II'로의 빔성분 즉, P파(TM wave) 성분이 발생하였을 경우에만 신호가 입사되어 간섭신호를 만들어 낸다.
- [0060] 시료의 편광변화 특성에 따라 나누어 살펴보면, 시료면에 편광변화가 없을 경우에, 대물렌즈 바로 후단의 편광 빔 분리기(PBS)를 투과한 제1 주파수 신호빔은 TM 편광(P파) 상태로 시료면에서 반사하여 모든 빛이 'path I'을 따라 제2 광 검출수단(PD2)으로 입사하여 간섭신호를 만들어 낸다.
- [0061] 그리고, 시료면에서 편광변화가 있을 경우, 시료와의 상호작용으로 인하여 제1 주파수 신호빔의 편광 상태가 TM 편광에서 편광각도가 회전하거나 타원 편광상태로 변화되어 반사된 신호빔은 편광 빔 분리기(PBS)를 지나면서 TM(P파) 및 TE(S파) 편광 성분으로 나누어져 제2 광 검출수단(PD2) 및 제3 광 검출수단(PD3)으로 각각 입사하여 간섭신호를 만들어 낸다. 이때 제3 광 검출수단(PD3)에서 발생한 성분은 polarization diversity에 의한 변화만을 기록하게 된다.
- [0062] 이처럼, 본 발명에서는 종래의 일반적이 헤테로다인 광 간섭계에서 산출 및 분석할 수 없었던, 시료에 따른 편광 다이버시티(polarization diversity)에 의한 편광변화를 검출할 수 있게 됨으로써, 관련 연구를 위한 각종의 분석장비에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 장비에 응용될 수 있는 장점이 있다.
- [0063] 일반적으로, 시료에서 편광변화를 일으키는 요소는 물질의 원형 복굴절(circular birefringence)에 의한 현상으로 선형 편광된 빛이 입사할 경우 CW, CCW 방향으로의 굴절률이 달라 입사된 선형 편광의 각도가 회전하는 현상을 말하는데, 본 발명에서는 종래의 헤테로다인 간섭계에서 이러한 시료의 편광변화를 추가적으로 검출할 수 있게 된다.
- [0064] 도 5는 본 발명에 따른 또 다른 실시예로서, 편광 다이버시티(polarization diversity) 헤테로다인 광 간섭계의 구성을 예시한 도면이다. 도 5에 나타난 바와 같이, 본 발명의 광 간섭계는, 헤테로다인 레이저 광원; 상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된 기준빔을 검출하는 제1 광 검출수단(PD1)과; 상기 레이저 광원에서 발생되어 분리된 신호빔 중 편광된 제1 주파수 신호빔을 시료에 주사시켜 검출하는 제2 광 검출수단(PD2)과; 상기 시료에서 주사되어 나온 제1 주파수 신호 빔의 편광을 소정의 각도로 회전 시키는 편광 회전기(PR); 상기 편광 회전기(PR)에서 편광 회전된 신호빔을 편광 분리시켜 상기 편광변화 검출하는 제3 광 검출수단(PD3)을 포함하되, 제2 주파수 신호빔을 상기 시료에 주사함이 없이 상기 제1 광 검출수단(PD1) 및 제2 광 검출수단(PD2)에서 검출하는

것이다.

- [0065] 도 3에 나타낸 바와 같이, 레이저 광원에서 2개의 주파수를 갖는 빛이 입사되고, 반사된 광의 광원으로의 유입을 방지하기 위한 광학 절연체(optical Isolator)를 통과하여 빔 분리기(BS)에서 기준빛과 신호빛으로 분리된다.
- [0066] 기준빛은 편광판(polarizer)에 의해 편광된 빛을 제1 광 검출수단(PD1)에서 검출하게 되고, 신호빛은 반파장판(HWP)을 통과하여 편광 방향을 180도 변경하고, 편광 빔 분리기(PBS)를 통하여 제1 주파수를 갖는 신호빛은 투과시키고, 제2 주파수를 갖는 신호빛은 수직으로 반사시켜 분리시킨다.
- [0067] 먼저, 제1 주파수 신호빛은 시료의 방향으로 직진하게 되고, 상기 제1 주파수 신호빛이 시료를 통하여 투과 또는 반사되어 나온 빛은 다시 편광 빔 분리기(PBS)에 의해 반사되어 제2 광 검출수단(PD2)에서 검출하게 된다.
- [0068] 그리고, 본 발명의 특징에 해당 하는 것으로, 시료에서 반사되거나 투과되어 나온 제1 주파수 신호빛을 편광 회전기(PR)를 통해 소정의 각도 로 편광 각도를 변환하고, 변환된 제1 주파수 신호빛을 다시 편광 빔 분리기(PBS)를 통하여 P파 S파로 각각 분리하여 제2 광 검출수단(PD2) 및 제3 광 검출수단(PD3)에서 검출할 수 있도록 하여, 편광변화를 효과적으로 검출하게 할 수 있도록 한다.
- [0069] 도 4에 예시된 실시예와 비교하여, 시료에서의 빛의 편광상태 변화와 상관없이 대물렌즈 앞단에 위치한 편광 회전기(PR: Polarization Rotator)를 두어 제2 및 제3 광 검출수단(PD2, PD3) 방향으로 반반씩 빛을 보내는 방식이다.
- [0070] 도 2의 실시예에서는 시료면에서 빛의 편광 변화가 없을 경우 한쪽 광 검출수단쪽에는 빛이 입사되지 않아 노이즈 영상만을 측정하게 되는데, 도 3의 실시예의 편광변화 광 간섭계는 시료면에서 편광방향 변화유무에 상관없이 2장의 이미지를 얻을 수 있고 만일 시료면에서 편광변화가 발생할 경우, 측정된 두 이미지를 프로그램적으로 차감하면 남은 영상은 시료면에서의 편광변화가 있는 부분만을 직접 관측할 수 있게 된다. 즉, 보다 명확하게 편광 변화된 지점을 확인할 수 있고, 그 크기 또한 비교 분석이 용이하게 된다.
- [0071] 도 6은 본 발명에 따른 편광변화 광 간섭계에서 레이저 광이 시료면에 입사되는 경우 경로 및 편광상태를 나타낸 개략도이다. 도 6에 나타낸 바와 같이, 헤테로다인 레이저 광원에서 광절연체(Optical Isolator)를 거쳐 빔 분리기를 통하여 기준빛과 신호빛으로 나누어 입사된다. 기준빛은 제1 광 검출수단(PD1)으로 전송하고, 신호빛은 시료의 방향으로 입사하게 된다 .
- [0072] 신호빛은 다시 제1 주파수 신호빛과 제2 주파수 신호빛을 편광 빔 분리기(PBS)를 통하여 분리시키는데, 반파장판(HWP)을 통과한 신호빛은 수평 및 수직 편광상태로 분리하여 제1 주파수 신호빛 및 제2 주파수 신호빛으로 분리하게 된다.
- [0073] 여기서 제1 주파수 신호빛은 시료에 주사되기까지 편광변화 없이 편광상태를 그대로 유지하고, 제2 주파수 신호빛은 제1 주파수 신호빛과 함께 상대적 세기를 검출하기 위해 빔 분리기를 통하여 제2 광 검출수단(PD2) 및 제3 광 검출수단(PD3)으로 시료에 주사함 없이 바로 전송하게 된다.
- [0074] 도 7은 본 발명에 따른 편광변화 광 간섭계에서 레이저 광이 시료에서 광 검출수단으로 전송되는 경로 및 편광 상태를 나타낸 개략도이다. 도 7에 나타낸 바와 같이, 시료에서 반사 또는 투과되어 나온 제1 주파수 신호 빛은 대물렌즈와 편광 빔 분리기(PBS) 사이에 위치한 편광 회전기(PR)를 통과하면서, 편광방향을 45도 회전 시키게 되면, 한쪽 방향의 편광성분에서 두개의 편광성분으로 변환하게 되고, 편광 빔 분리기(PBS)를 통해 다시 S파는 제2 광 검출수단(PD2)으로, P파는 제3 광 검출수단(PD3)으로 분리 전송하게 된다.
- [0075] 그리고, 제2 광 검출수단(PD2) 및 제3 광 검출수단(PD3)에 제1 주파수 신호빛과 제2 주파수 신호빛의 편광 방향을 동일하게 입사하도록 하기 위해 편광 빔 분리기(PBS) 또는 반파장판(HWP)을 적절한 위치에 배치하게 된다. 이는 헤테로다인 간섭계의 특성인 서로 다른 주파수 광신호를 비교하여 상대적인 신호의 세기 및 위상을 검출할 수 있도록 하기 위함이다.
- [0076] 이처럼 본 발명에 따른 편광변화 헤테로다인 광 간섭계는 종래의 일반적인 헤테로다인 광 간섭계에서 산출 및 분석할 수 없었던, 시료에 따른 편광변화를 검출할 수 있게 됨으로써, 관련 연구를 위한 각종의 분석장비 또는 다양한 장비에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 시료의 광학적 특성을 보다 정밀하게 측정할 수 있게 된다.

- [0077] 도 8은 본 발명에 따른 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계를 이용 한 주사 현미경의 구성을 예시한 도면이다. 도 8에 나타난 바와 같이, 본 발명의 주사 현미경은 상기 예시한 편광 다이버시티(polarization diversity) 헤테로다인 광 간섭계(10); 시료대가 배치되는 시료(50)를 구비하고, 상기 시료대를 신호빛의 진행 방향에 대해 수직인 두 방향으로 이동시키는 XY 스캐너(60); 상기 XY 스캐너의 이동을 제어하는 스캐너 구동장치(40); 상기 헤테로다인 광 간섭계로부터 제공되는 신호빛을 시료의 표면으로 집광시키는 집광시키거나, 시료에서 나오는 빛을 시준하는 집광/시준 장치(20); 및 상기 편광 다이버시티(polarization diversity) 헤테로다인 광 간섭계로부터 출력되는 I-신호 및 Q-신호를 입력받아 시료의 표면의 정보를 추출하거나, 상기 스캐너 구동장치로 XY 스캐너의 이동을 제어하는 이동 제어 신호를 전송하는 컴퓨터(30)를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0078] 즉, 도 8을 참조하면, 본 발명에 따른 주사 현미경은 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계(10), 집광/시준 장치(20), XY 스캐너(60), A/D 컨버터(15), 컴퓨터(30) 및 스캐너 구동장치(40)를 구비한다. 이와 같은 구성을 갖는 본 발명에 따른 주사 현미경은 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계와 주사 현미경을 결합함으로써, 기존의 현미경으로 얻을 수 없는 시료의 표면 또는 내부의 국부적인 광학적 특성, 특히 편광 다이버시티(polarization diversity)를 분석하여 시료에 대한 구조적, 물질적 정보를 얻을 수 있게 된다.
- [0079] 이하 본 발명에 따른 주사 현미경을 구성하는 구성 요소들에 대하여 구체적으로 설명한다.
- [0080] 여기서, 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계는 상술한 도 4 및 도 5에 예시된 바와 같고, 집광/시준장치(20)는 신호빛을 집광시키고, 시료로부터 반사 또는 투과되어 나오는 신호빛이 시준 되도록 하는 장치를 말한다. 즉, 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계(10)로부터 나온 신호빛은 스캐너(60) 위에 배치된 시료(50)의 표면에 집광되고, 시료(50)의 표면 또는 내부로부터 반사되어 나온 빛이 다시 동일한 광학계를 통해 시준이 되어 상기 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계(10)로 되돌아간다.
- [0081] 동작을 자세히 살펴보면, 상술한 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계(10)로부터 출력된 2 모드, 2개의 편광 레이저 빛을 빔 분리기(BS)를 사용하여 두 개의 다른 경로로 나누어 주고, 이들 중 하나의 빛은 편광방향에 대하여 45도로 정렬된 편광판을 이용하여 서로 수직인 두 편광성분을 합쳐주고, 편광판으로부터 투과된 빛을 복수개의 광 검출장치(PD)를 이용하여 주파수가 다른 두 모드 사이의 맥놀이 신호를 얻어 이를 I/Q 복 조기의 LO(local oscillator) 신호로 사용한다.
- [0082] 빔 분리기(BS)에 의해 각각의 편광성분을 나누어 주어 하나는 기준빛과 다른 하나는 신호빛으로 활용하는 간섭식 측정에서 많이 사용되는 변형된 마이켈슨(Michelson) 간섭계를 구성한다.
- [0083] 이처럼 제2 광검출수단(PD2) 및 제3 광검출수단(PD3)에서 검출된 신호빛과 제1 광검출수단(PD1)에서 검출된 기준빛을 간섭시켜 맥놀이 신호를 얻을 수 있고, (도 2 및 도 3 참조) 3개의 광검출수단(PD) 및 차동증폭기를 이용하여 발란스드 측정(balanced detection)을 할 수 있음은 물론이다. 또한 상기 광검출수단으로부터 출력된 맥놀이 신호에서 high pass filter나 band pass filter를 사용하여 DC 성분을 제거해 주면 [수학식 3]과 같은 맥놀이 신호를 얻을 수 있다. 이와 같이 얻어진 맥놀이 신호를 I/Q 복조기의 RF 입력단에 입력시켜 [수학식 4]와 [수학식 5]의 형태로 주어지는 I 및 Q 신호를 얻을 수 있고, 이를 A/D 변환기로 디지털화하여 컴퓨터에 입력시켜 [수학식 6] 및 [수학식 7]과 같은 연산을 함으로써 신호 빛에 유도된 위상과 진폭신호를 동시에 구분하여 측정할 수 있고, 뿐만 아니라, 종래에는 검출할 수 없었던, 편광 다이버시티(polarization diversity)에 의한 편광변화를 검출할 수 있게 된다.
- [0084] 그리고, 시료에 대한 표면 측정을 위해서 XY 축으로 이동할 수 있는 이동장치인 XY 스캐너(60)가 사용되었으며 이 장치는 컴퓨터(30)와 스캐너 구동장치(40)에 의해서 일정한 간격으로 이동하게 된다. 따라서 시료가 XY로 이동함에 따라 그 표면 정보는 렌즈에 의해 집광된 빛의 위상 변환값으로 그 정보를 표현하게 된다.
- [0085] 또한 본 발명에 따른 편광변화 헤테로다인 광 간섭계를 이용한 검출방식은 발란스드 측정(balanced detection) 방식을 사용하는 것이 바람직한데, 이는 2개의 출력단 즉 반사와 투과를 통해서 나오는 두 빛의 세기가 기준 빛과 신호빛의 위상차이에 따라 변하며, 만약 한쪽 출력단으로 나오는 빛이 증강간섭이 일어나는 경우 다른 쪽 출력단으로 나오는 빛은 소멸간섭을 일으킨다.
- [0086] 즉, 각각의 출력단으로 나오는 빛의 간섭신호는 180도 위상차이를 갖는다. 따라서 두개의 광신호를 차동증폭기로 빼어 줌으로써 각각의 광신호에 실려있는 서로 상관된 잡음(correlated noise)은 제거되고 광신호는 두 배로 커져 신호 대 잡음비를 높일 수 있으며, 이와 같은 측정방법을 balanced detection 방법이라고 한다. 이 방식으

로 검출된 전기 신호는 I/Q 복조기의 RF 신호로 사용된다. I/Q 복조기를 통해서 복조화된 I와 Q신호는 A/D 컨버터를 통해서 디지털 신호로 변환되어 컴퓨터로 보내어진다. 컴퓨터는 이 디지털 신호를 이용하여 위상과 세기 값을 통해서 시료의 표면에 대한 정보 값을 얻기 위한 연산을 수행한다.

[0087] 도 9은 본 발명에 따른 또 다른 실시예로서, 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계를 이용한 복합기능 현미경의 구성을 예시한 도면이다. 도 9에 나타난 바와 같이, 본 발명의 복합기능 현미경은 상술한 편광 다이버시티(polarization diversity) 헤테로다인 광 간섭계(10); 시료(50)가 배치되는 시료대를 구비하고, 상기 시료대를 신호빛의 진행 방향에 대해 수직한 두 방향으로 이동시키는 XY 스캐너(60); 상기 XY 스캐너의 이동을 제어하는 스캐너 구동장치(40); 상기 시료대를 탐지빛의 진행 방향과 동일한 방향으로 이동시키는 상하 이동 기구(55); 상기 상하 이동 기구(55)의 이동을 제어하는 미세 거리 조절 장치(35); 상기 헤테로다인 광 간섭계(10)로부터 제공되는 신호빛을 시료(50)의 표면으로 집광시키는 집광시키거나, 시료에서 나오는 빛을 시준하는 집광/시준 장치(20); 및 상기 스캐너 구동 장치로 XY 스캐너(60)의 이동을 제어하는 이동 제어 신호를 전송하거나, 상기 미세 거리 조절 장치(35)로 상하 이동 기구(55)의 이동을 제어하는 신호를 전송하며, 상기 I/Q 간섭계로부터 제공되는 I-신호 및 Q-신호를 입력받아 시료(50)의 표면 또는 내부에 대한 정보를 추출하는 컴퓨터(30)를 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0088] 도 9를 참조하면, 본 발명에 따른 복합 기능 현미경은 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계(10), 탐지빛 입출력 장치(13), 집광/시준 장치(20), 상하 이동 기구(55), XY스캐너(60), 컴퓨터(30), 스캐너 구동장치(40) 및 미세 거리 조절 장치(35)를 구비한다. 이와 같은 본 발명의 복합 기능 현미경은 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계(10)와 다단층 스캐닝 방법을 결합함으로써, 기존의 현미경으로는 얻을 수 없는 시료의 표면 또는 내부의 국부적인 광학적 특성 특히, 편광변화와 같은 특성을 분석하여 시료에 대한 구조적 및 물질적 정보를 얻을 수 있게 된다. 이하에서 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계(10)에 대한 설명은 상술한 바와 같기 때문에 생략한다.

[0089] 이와 같이, 편광 다이버시티 헤테로다인 광 간섭계(10)가 탐지빛 또는 신호빛을 제공하고 상기 탐지빛은 시료(50)에 집광 및 시준되어 상기 시료(50)의 표면 정보를 포함하며 다시 I/Q 간섭계로 입력된 후, I-신호, Q-신호로 변환되어 컴퓨터(30)로 제공된다.

[0090] 여기서 컴퓨터(30)는 시료가 놓이는 시료대를 이동시키는 XY 스캐너(60)의 이동을 제어하는 스캐너 구동장치(40)로 이동제어신호를 전송하며, 상기 스캐너 구동장치(40)는 상기 전송된 이동제어신호에 따라 상기 XY 스캐너(60)의 이동을 제어한다. 상기 XY 스캐너(60)는 시료대를 탐지빛의 진행방향에 대해 수직한 두 방향으로 이동시키도록 구성된다. 또한, 상기 컴퓨터(30)는 상기 시료(50)가 놓이는 시료대를 상하 이동 기구(55)의 상하 이동 거리를 제어하는 미세 거리 조절 장치(35)로 위치 조절 오차 신호를 전송하며, 상기 미세 거리 조절 장치(35)는 상기 위치 조절 오차 신호에 따라 상기 상하 이동 기구(55)의 상하 이동을 제어한다. 상기 상하 이동 기구(55)는 시료대를 탐지빛의 진행 방향과 동일한 방향으로 이동시키도록 구성된 것으로서, 시료대를 광축(z-축) 방향으로 정밀이송이 가능한 PZT 이송장치나 스텝 모터 이송장치 등이 사용될 수 있다.

[0091] 그리고, 컴퓨터에 연결되어 있는 XY 스캐너(60)에 의해 정밀하게 위치를 바뀌가면서 관심 있는 영역을 주사함으로써 해당 영역에 대한 위상 및 진폭변화 맵(map)을 구할 수 있고, 이를 통하여 시료의 표면이나 내부의 구조와 재질에 대한 복합적인 현미경 진단이 가능하다.

[0092] 본 실시예에 따른 다단층 스캐닝 과정은, 먼저 시료(X)를 시료대에 놓은 후, 상하 이동 기구(55)를 이용하여 시료대를 광축(z-축) 상의 한 위치에 고정시킨 후 XY 스캐너(60)를 이용하여 xy-방향으로 스캐닝을 해가면서(x,y) 위치에 따라 변하는 위상 및 진폭값을 편광 다이버시티 광 간섭계(10)로부터 측정하여 이를 컴퓨터(30)에 저장한다. 다음, 상하 이동 기구(55)를 광축(z-축) 방향으로 한 스텝 이송시켜 광축(z-축)상의 위치를 변경시킨 후 다시 xy-방향으로 스캐닝하면서 위상과 진폭 변화에 대한 데이터를 얻게 된다.(도시하지 않음)

[0093] 이와 같이 광축(z-축) 방향으로의 이송 후에 xy-방향 스캐닝을 통해 위상과 진폭변화 정보를 얻는 것을 반복적으로 수행하여, 여러 단층에 대한 스캐닝을 하게 된다. 이 때 광축(z-축) 방향으로의 이송 스텝 간격과 이송 횟수는 시료에 따라 수동적으로 설정할 수도 있고, 단층별 스캐닝 결과를 비교해가면서 소프트웨어를 통해 조절하는 자동설정 기능을 적용할 수 있다.

[0094] 상기 컴퓨터(30)는 시료를 단층별로 스캐닝하면서 탐지빛에 유도된 위상과 진폭변화 신호를 편광 다이버시티 광 간섭계(10)로부터 제공받아 저장시키고, 저장된 각 단층별 스캐닝 결과로부터 해당 단층에 대한 국부적인 위상

변화와 진폭변화 맵(map)을 구할 수 있으며, 여러 단층에 대한 스캐닝 결과들을 종합함으로써 시료(X)의 3차원 기하학적 구조 및 재질분포에 대하여 정량적인 분석이 가능 해 진다.

[0095] 다단층 스캐닝 기술을 적용함으로써 각 단층별로 초점과 같은 높이에 있는 시료면의 구조에 대 한 복합분석이 가능하고, 각 단층에서 얻어진 분석결과들을 종합함으로써 시료의 3차원 구조와 재질에 관한 정량적인 정보를 얻을 수 있다. 이때 단층과 단층 사이의 간격과 단층의 수는 시료의 특성, 집광장치의 초점 깊이(depth of focus)등을 고려하여 수동으로 정하거나, 소프트웨어를 이용하여 단층과 단층 사이의 변화를 비교하여 자동적으로 간격과 단층의 수를 결정할 수도 있다.

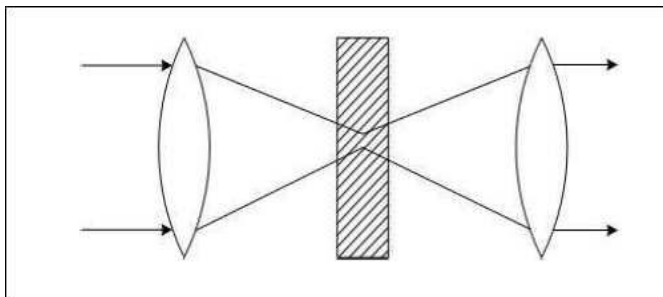
[0096] 다 단층 스캐닝을 이용하여 표면 진단하는 경우, 먼저 초점이 정확하게 표면에 위치했을 때 진폭신호의 크기가 가장 크다는 점을 이용하여 우선 단층 스캐닝 결과에서 진폭신호의 크기가 가장 큰 점을 찾는다. 다음, 진폭신호의 크기가 가장 큰 지점과 위상이 같은 지점들을 연결하여 표면 형상(topography)에 대한 등고선(等高線, contour) 또는 등고면(等高面)을 얻을 수 있으며, 해당 등고선 또는 면들에 대한 진폭신호로부터 표면의 불균질성 등에 의한 반사율 변화에 대한 정보를 얻을 수 있다. 또한, 상기 지점들은 항상 초점이 위치하기 때문에 해당 지점에서 집광장치가 갖는 최적의 분해능으로 시료를 분석할 수 있다.

[0097] 이상에서 본 발명에 따른 광 간섭계 중에서 헤테로다인 간섭계를 이용하여 현미경 또는 복합기능 현미경을 설명하였지만, 편광 다이바서티에 의한 편광변화를 검출할 수 있는 호모다인 광 간섭계를 이용하는 것도 역시 가능한 물론이다.

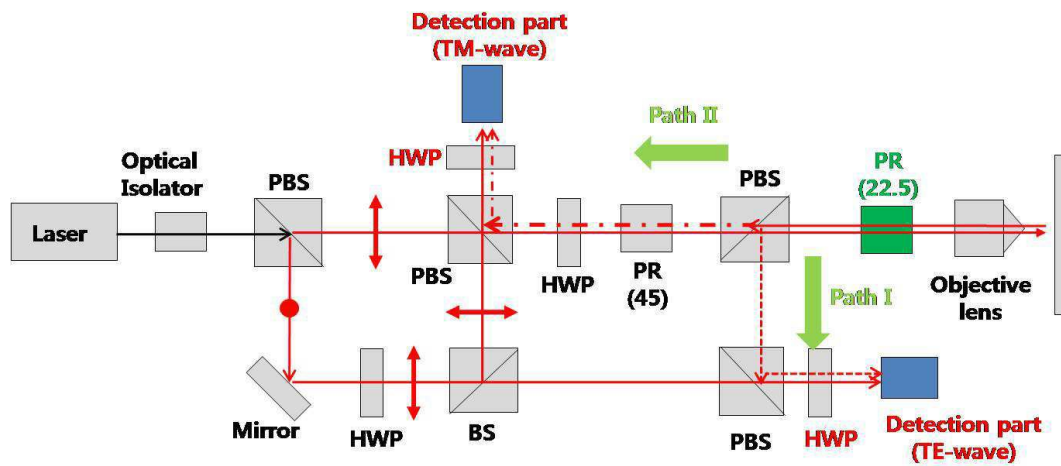
[0098] 이상의 설명에서 본 발명은 특정의 실시 예와 관련하여 도시 및 설명하였지만, 특허청구범위에 의해 나타난 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 개조 및 변화가 가능 하다는 것을 당 업계에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구나 쉽게 알 수 있을 것이다.

도면

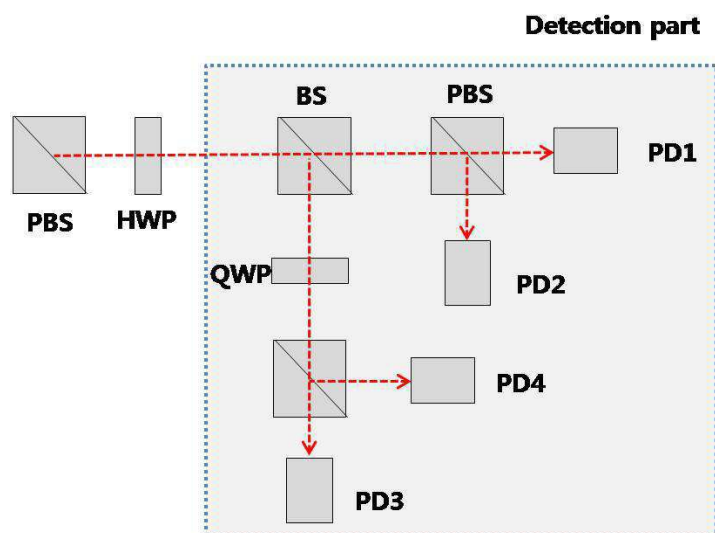
도면1



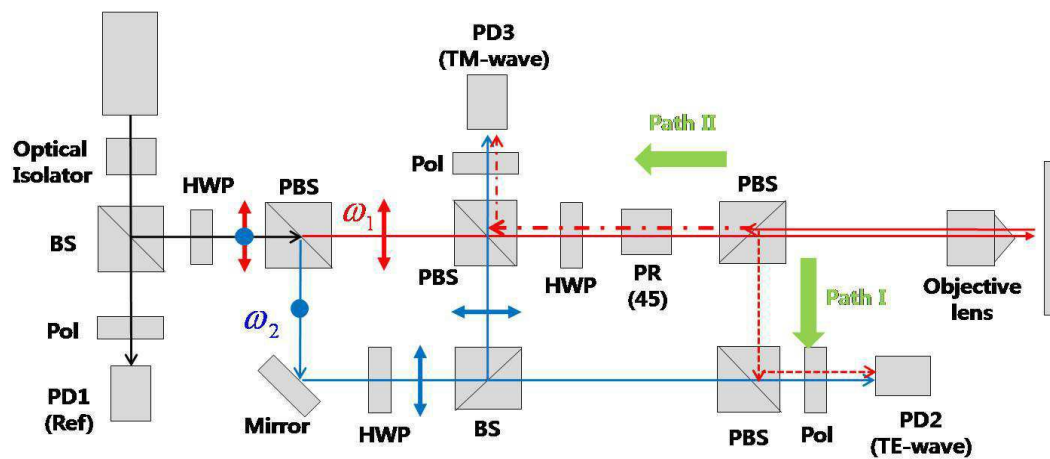
도면2



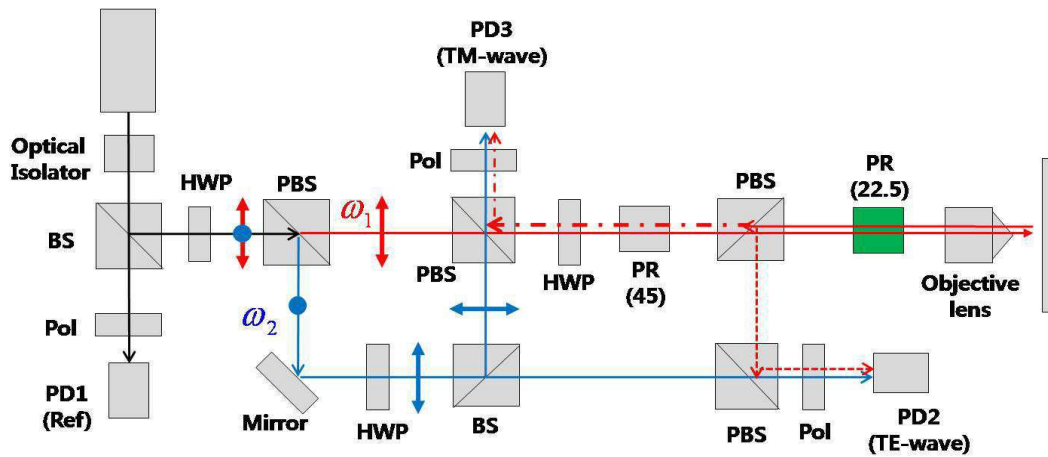
도면3



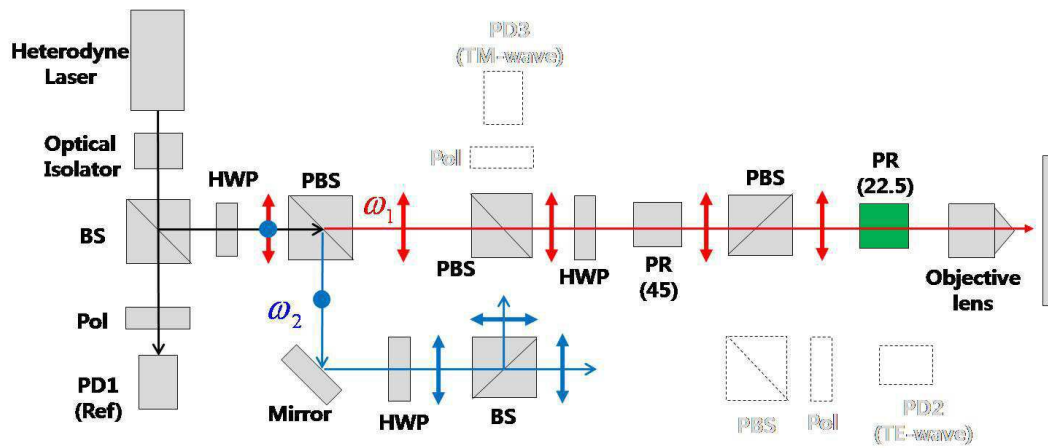
도면4



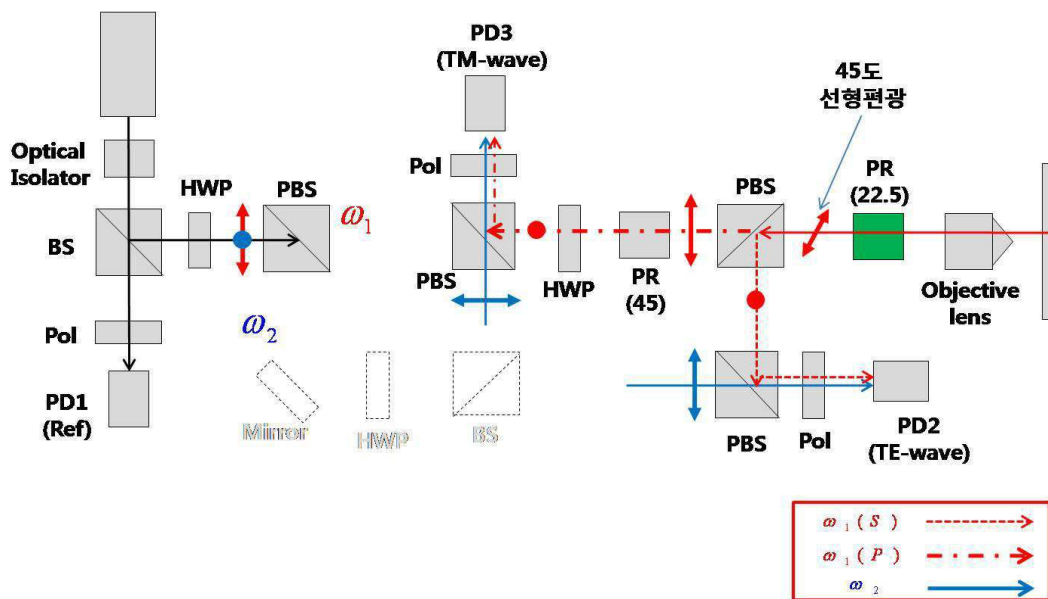
도면5



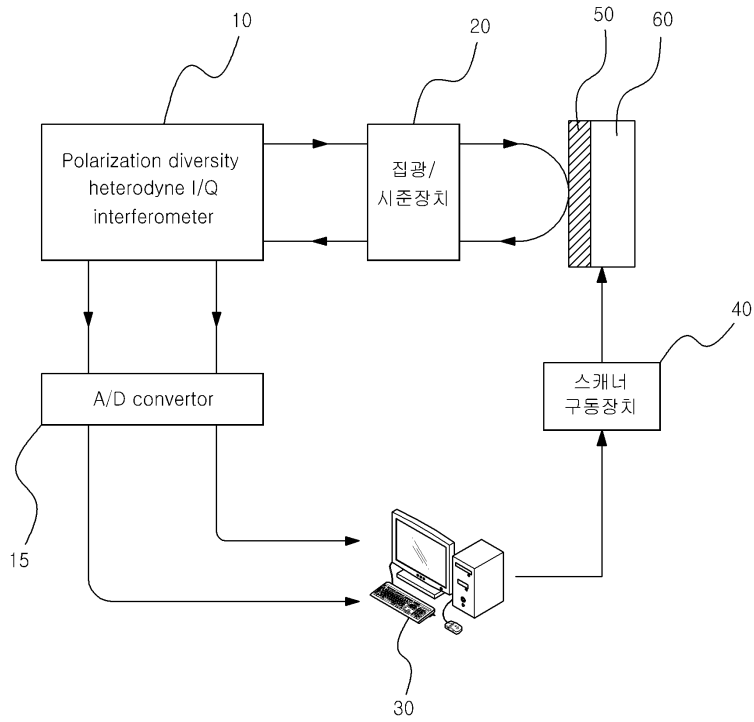
도면6



도면7



도면8



도면9

