



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년11월05일
(11) 등록번호 10-0866038
(24) 등록일자 2008년10월24일

(51) Int. Cl.

H01J 37/26 (2006.01) H01J 37/28 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0077275

(22) 출원일자 2007년08월01일

심사청구일자 2007년08월01일

(56) 선행기술조사문헌

JP06324268 A

US5371588 A

JP10293019 A

(73) 특허권자

서강대학교산학협력단

서울 마포구 신수동 1-1 서강대학교

연세대학교 산학협력단

서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교

(72) 발명자

조규만

서울 강북구 수유6동 530-1 현대빌라 4동 201호

권강혁

서울 강동구 천호동 삼성아파트 101-1705

(74) 대리인

이지연

전체 청구항 수 : 총 7 항

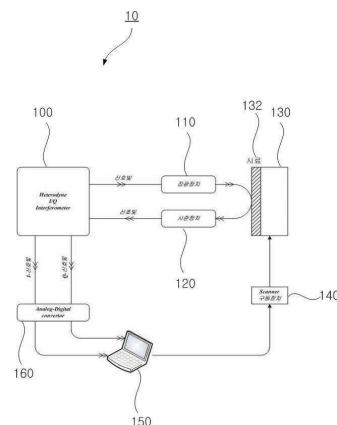
심사관 : 김성훈

(54) 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경

(57) 요약

본 발명은 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 주사 현미경에 관한 것이다. 상기 주사 현미경은, 시료로 신호빔을 제공하고, 상기 시료에 대해 집광 및 시준되어 되돌아온 신호빔과 기준빔을 I-신호 및 Q-신호로 변환하여 출력하는 헤테로다인 간섭계, 시료가 배치되는 시료대를 구비하고, 상기 시료대를 신호빔의 진행방향에 대해 수직인 두 방향으로 이동시키는 XY 스캐너, 상기 XY 스캐너의 이동을 제어하는 스캐너 구동 장치, 상기 헤테로다인 간섭계로부터 제공되는 신호빔을 시료의 표면으로 집광시키는 집광 장치, 상기 시료에 집광된 후 시료에 의해 반사되거나 투과된 신호빔을 시준시키는 시준 장치, 상기 헤테로다인 간섭계로부터 출력되는 I-신호 및 Q-신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환기, 상기 A/D 변환기로부터 제공되는 디지털화된 I-신호 및 Q-신호를 입력받아 시료의 표면의 정보를 추출하거나, 상기 스캐너 구동 장치로 XY 스캐너의 이동을 제어하는 이동 제어 신호를 전송하는 컴퓨터를 구비한다. 본 발명에 따른 주사 현미경은, I/Q 복조기를 갖는 헤테로다인 간섭계를 이용하여 시료의 표면 또는 내부에 대한 물리적 및 구조적 정보를 획득하여 분석할 수 있게 된다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	10816
부처명	서울특별시
연구사업명	서울시 산학연 협력사업(2006년 기술기반구축사업)
연구과제명	나노 기술을 이용한 바이오 융합산업 혁신클러스터
주관기관	연세대학교 산학협력단
연구기간	2006년 08월 01일 ~ 2008년 07월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

시료로 신호빔을 제공하고, 상기 시료에 대해 집광 및 시준되어 되돌아온 신호빔과 기준빔을 I-신호 및 Q-신호로 변환하여 출력하는 헤테로다인 간섭계;

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

상기 XY 스캐너의 이동을 제어하는 스캐너 구동 장치;

상기 헤테로다인 간섭계로부터 제공되는 신호빔을 시료의 표면으로 집광시키는 집광 장치;

상기 시료에 집광된 후 시료에 의해 반사되거나 투과된 신호빔을 시준시키는 시준 장치;

상기 헤테로다인 간섭계로부터 출력되는 I-신호 및 Q-신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환기;

상기 A/D 변환기로부터 제공되는 디지털화된 I-신호 및 Q-신호를 입력받아 시료의 표면의 정보를 추출하거나, 상기 스캐너 구동 장치로 XY 스캐너의 이동을 제어하는 이동 제어 신호를 전송하는 컴퓨터;

를 구비하는 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 주사 현미경의 헤테로다인 간섭계는 신호빔이 시료의 표면에서 반사하는 방식으로 동작되며, 상기 집광 장치와 상기 시준 장치는 하나의 대물렌즈로 구성되는 것을 특징으로 하는 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 주사 현미경의 헤테로다인 간섭계는 신호빔이 시료를 통과하는 투과 방식으로 동작되며, 상기 시료의 정면과 배면에 각각 집광 장치 및 시준 장치가 배치되는 것을 특징으로 하는 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 I/Q 복조기를 구비하고, 상기 I/Q 복조기는 기준빔에 대한 전기적 신호와 시료에 의해 반사되거나 투과된 후 시준장치에 의해 시준된 상기 신호빔에 대한 전기적 신호가 입력되며, 이들에 대한 I-신호와 Q-신호가 출력되는 것을 특징으로 하는 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 듀얼 모드 레이저 광원을 이용하는 것을 특징으로 하는 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 발란스드 검출(Balanced Detection) 방식을 이용하는 것을 특징으로 하는 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 광음향 변조기와 발란스드 검출(Balanced Detection) 방식을 이용하는 것을 특징으로 하는 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <19> 본 발명은 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 I/Q 복조기를 갖는 헤테로다인 간섭계를 이용하여 시료의 표면 또는 내부에 대한 물리적 및 구조적 정보를 획득하여 분석할 수 있는 주사 현미경에 관한 것이다.
- <20> 간섭식 측정장치는 신호빔(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, 신호빔과 기준빔의 주파수가 같을 경우 이를 호모다인(homodyne) 간섭계라고 하며, 주파수가 다를 경우 이를 헤테로다인(heterodyne) 간섭계라고 한다.
- <21> 호모다인 간섭계의 경우, BS의 두 개의 출력단으로 나오는 빛의 세기가 신호빔과 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 1로 나타난다.

수학식 1

- $$v_{diff} = R\sqrt{I_s}\sqrt{I_{LO}}\cos(\phi_0 + \phi_m)$$
- <22>
- <23> 여기서 I_s 와 I_{LO} 는 각각 신호빔과 기준빔의 세기를 나타내며, ϕ_m 과 ϕ_0 는 각각 측정하고자 하는 시료의 국부적인 구조나 광학적 특성 때문에 신호빔에 유도되는 위상 값과 이를 제외한 간섭계에서 신호빔과 기준빔 사이의 광학적인 경로차이에 의한 위상 차이를 나타낸다.
- <24> 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 신호빔을 주사해 가면서 ϕ_m 을 최적으로 측정해야 한다. 대개의 경우 ϕ_m 의 크기가 매우 적기 때문에 만약 되먹임(feedback) 장치를 이용하여 ϕ_0 가 항상 $\pi(2n+1)/2$, $n = 0, 1, 2, \dots$ 가 되게 신호빔과 기준빔 사이의 경로차이를 조절하여 주면 수학식 1은 수학식 2와 같이 쓸 수 있다.

수학식 2

- $$v_{diff} = R\sqrt{I_s}\sqrt{I_{LO}}\sin\phi_m \approx R\sqrt{I_s}\sqrt{I_{LO}}\phi_m$$
- <25>
- <26> 따라서 간섭신호의 크기는 ϕ_m 에 비례하게 되어 주사를 통해 시료의 국부적인 위상변화를 매핑(mapping)시킬 수 있다. 그러나 신호빔의 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.
- <27> 헤테로다인 간섭계의 경우 신호빔과 기준빔의 주파수가 다르기 때문에 각각의 출력단에서 검출된 광신호는 수학식 3과 같이 주어진다.

수학식 3

- $$v_{diff} = R\sqrt{I_s}\sqrt{I_{LO}}\cos(\Delta\omega t + \phi_0 + \phi_m)$$
- <28>
- <29> 여기서, $\Delta\omega$ 신호빔과 기준빔의 주파수 차이를 나타낸다. 즉, 간섭신호는 두 빛의 차이 주파수에 해당하는 RF 또는 마이크로파 영역의 맥놀이 신호이며, 표면에 의해 신호빔에 유도된 위상변화나 진폭 변화를 측정하기 위해서는 RF에서 사용되는 전형적인 신호처리 기술들을 사용할 수 있다.
- <30> 간섭계에서 신호빔에 유도된 위상 및 진폭 변화를 구분해서 측정할 수 있는 간섭계에 대한 연구가 그동안 본 발

명의 발명자 그룹에 의해 진행되어 왔다. 호모다인 I/Q-간섭계의 경우 신호빛과 기준빛의 편광상태를 이용하여 두 개의 간섭계가 동일한 신호빛과 기준빛 경로를 가지면서도 간섭신호 사이에 서로 90도의 위상 차이를 갖는다. 따라서 한 간섭계의 신호가 수학식 4와 같이 나타난다.

수학식 4

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

<31>

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

수학식 5

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

<33>

수학식 6

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

<34>

수학식 7

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

<35>

따라서 I/Q-간섭계를 사용할 경우 신호빛에 유도된 위상변화와 크기 변화를 동시에 구분하여 측정할 수 있다. 이러한 간섭계에 대한 자세한 내용과 이용한 표면 현미경에 대한 연구 결과가 참고문헌 1(Heseong Jeong, Jong-Hoi Kim, Kyumann Cho, "Complete mapping of complex reflection coefficient of a surface using a scanning homodyne multiport interferometer.", Optics communication, Vol. 204, pp. 45- 52 (2002))에 나와 있다. 여기서 표면 분석은 반사형으로 이루어졌으며 신호빛을 표면의 한 지점에 집광시킨 후 시료를 x, y-축 방향으로 스캔하면서 신호빛에 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.

<37>

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 신호빛에 유도된 위상을 효과적으로 측정할 수 있으며 간단한 광학계 구성 즉, balanced detection 방법외에 하나의 신호빛 측정에 두 개의 Photo Diode(PD)만으로 구성하고 I/Q 복조화기 앞단에 High-pass filter 혹은 band-pass filter를 사용하여 헤테로다인 간섭계 기술을 개발하였다. 도 5와 같이 서로 주파수가 다른 신호빛과 기준빛을 BS를 이용하여 간섭시키고 이를 광검출기를 이용하여 전기신호로 바꾸어 주면, 수학식 3과 같이 신호빛에 실려 있는 진폭과 위상변화에 대한 정보가 RF 또는 마이크로파 대역으로 하향 변환(down conversion)되므로, I/Q-복조방법을 적용할 경우 신호빛에 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.

<38>

한편, 헤테로다인 간섭계는 호모다인 간섭계에 비하여 광학계의 구조가 간단하기 때문에 위상측정에 대한 감지율(sensitivity)은 떨어지나 신뢰도가 높은 모듈형 소자로의 집적이 용이하며 응용성이 높다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<39>

전술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 시료로부터 투과 또는 반사된 신호빛에 유도되는 위상과 진폭 변화를 동시에 측정할 수 있는 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경을 제공하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

- <40> 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 특징은 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경에 관한 것으로서, 상기 주사 현미경은,
- <41> 시료로 신호빔을 제공하고, 상기 시료에 대해 집광 및 시준되어 되돌아온 신호빔과 기준빔을 I-신호 및 Q-신호로 변환하여 출력하는 헤테로다인 간섭계,
- <42> 시료가 배치되는 시료대를 구비하고, 상기 시료대를 신호빔의 진행 방향에 대해 수직인 두 방향으로 이동시키는 XY 스캐너,
- <43> 상기 XY 스캐너의 이동을 제어하는 스캐너 구동 장치,
- <44> 상기 헤테로다인 간섭계로부터 제공되는 신호빔을 시료의 표면으로 집광시키는 집광 장치,
- <45> 상기 시료에 집광된 후 시료에 의해 반사되거나 투과된 신호빔을 시준시키는 시준 장치,
- <46> 상기 헤테로다인 간섭계로부터 출력되는 I-신호 및 Q-신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환기,
- <47> 상기 A/D 변환기로부터 제공되는 디지털화된 I-신호 및 Q-신호를 입력받아 시료의 표면의 정보를 추출하거나, 상기 스캐너 구동 장치로 XY 스캐너의 이동을 제어하는 이동 제어 신호를 전송하는 컴퓨터를 구비한다.
- <48> 전술한 특징을 갖는 상기 주사 현미경의 헤테로다인 간섭계는 신호빔이 시료의 표면에서 반사하는 방식으로 동작되고, 이 경우 상기 집광 장치와 상기 시준 장치는 하나의 대물렌즈로 구성되거나, 신호빔이 시료를 통과하는 투과 방식으로 동작되고, 이 경우 상기 시료의 정면과 배면에 각각 집광 장치 및 시준 장치가 배치되는 것이 바람직하다.
- <49> 전술한 특징을 갖는 상기 주사 현미경의 헤테로다인 간섭계는 I/Q 복조기를 구비하고, 상기 I/Q 복조기는 기준빔에 대한 전기적 신호와 상기 신호빔에 대한 전기적 신호가 입력되며, 이들에 대한 I-신호와 Q-신호가 출력되는 것이 바람직하다.
- <50> 전술한 특징을 갖는 상기 주사 현미경의 헤테로다인 간섭계는 듀얼 모드 레이저 광원을 이용하거나, 발란스드 검출(Balanced Detection) 방식을 이용하거나, 광음향 변조기와 발란스드 검출(Balanced Detection) 방식을 이용하는 것이 바람직하다.
- <51> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 주사 현미경에 대하여 구체적으로 설명한다.
- <52> 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 주사 현미경을 전체적으로 도시한 블록도이다. 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 주사 현미경(10)은 헤테로다인 간섭계(100), 집광(focusing) 장치(110), 시준(collimation) 장치(120), XY스캐너(130), A/D 컨버터(160), 컴퓨터(150) 및 스캐너 구동 장치(140)를 구비한다. 전술한 구성을 갖는 본 발명에 따른 주사 현미경(10)은 헤테로다인 간섭계와 주사 현미경 방법을 결합함으로써, 기존의 현미경으로는 얻을 수 없는 시료의 표면 또는 내부의 국부적인 광학적 특성을 분석하여 시료에 대한 구조적, 물질적 정보를 얻을 수 있게 된다. 이하, 본 발명에 따른 주사 현미경을 구성하는 구성 요소들에 대하여 구체적으로 설명한다.
- <53> 상기 헤테로다인 간섭계(100)는 I/Q 간섭계라고도 하는데, 신호빔을 스캐너위에 배치된 시료(sample)에 집광시키고 시료의 표면 또는 내부로부터 반사되어 온 신호빔(probe beam)이나 시료를 투과한 빛의 위상과 진폭을 구분해서 동시에 측정할 수 있다.
- <54> 상기 집광 장치(110)는 신호빔을 시료위에 집광시키는 것이며, 시준 장치(220)는 상기 시료로부터 반사되거나 투과된 신호빔이 시준이 되도록 한다. 본 발명에 따른 주사형 현미경은 반사 방식 또는 투과 방식을 작동될 수 있다. 도 2는 본 발명에 따른 주사 현미경이 반사 방식으로 작동되는 경우, 신호빔이 집광 및 시준 장치에 의해 집광된 후 시료의 표면에 의해 반사되어 시준이 되는 경로를 도시한 것이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 상기 헤테로다인 간섭계(100)로부터 나온 신호빔은 스캐너(130)위에 배치된 시료(sample; 132)의 표면에 집광되고, 시료의 표면 또는 내부로부터 반사되어 온 빛이 다시 동일한 광학계를 통해 시준이 되어 헤테로다인 간섭계(100)로 되돌아간다.
- <55> 도 3은 헤테로다인 간섭계의 신호빔 입출력단에 설치된 편광 빔살 가르게(PBS, polarizing beam splitter)에서의 신호빔의 경로를 도시한 것이다. 도 3을 참조하면, 신호빔은 헤테로다인 간섭계(100)의 상기 편광 빔살 가르게에서 투과 또는 반사를 하여, $\lambda/4$ -위상지연판이나 45도 Faraday 편광 회전 장치를 왕복함에 따라 편광 방향

이 90도 회전하게 되므로 편광 빔살 가르게에서 반사 또는 투과를 하여 헤테로다인 간섭계에 다시 입력된다. 상기 헤테로다인 간섭계로 입력된 신호빔은 시료의 표면에 대한 국부적인 구조적 및/또는 광학적 특성에 의해 위상변화와 크기변화가 유도되고, 헤테로다인 I/Q-복조 방법을 적용하여 위상과 신호빔의 진폭변화를 구분하여 측정할 수 있으며, 시료 또는 신호빔을 x-y 방향으로 주사하면서 국부적으로 변하는 위상과 진폭에 대한 이미지를(image) 얻고, 이들로부터 복합적으로 표면을 진단할 수 있다.

<56> 도 4는 본 발명에 따른 주사 현미경이 투과 방식으로 작동되는 경우의 집광장치(400)와 시준 장치(402) 및 시료(410)를 예시적으로 도시한 것이다. 도 4를 참조하면, 투과방식은 집광장치(400)를 이용하여 시료(410)의 내부에 초점을 맺히게 하고 투과된 신호빔을 다시 시준장치(402)를 이용하여 시준시킨 후 이를 거울 등을 사용하여 다시 헤테로다인 간섭계에 입력시키며 반사방식과 마찬가지로 방법으로 스캔 영역에 대한 위상과 진폭변화 이미지를 얻을 수 있으며, 이들로부터 시료의 내부구조에 대한 복합적인 진단이 가능하다.

<57> 본 발명은 헤테로다인 간섭계에 주사 현미경 방식을 결합하여 시료의 표면 또는 내부의 국부적인 광학적 특성을 복합적으로 분석할 수 있는 광학 현미경을 구성하는 것이 목적이다. I/Q-간섭계를 이용하여 표면으로부터 반사되거나 시료 내부를 투과한 신호빔의 위상과 진폭변화를 동시에 구분하여 측정하고 주사를 통하여 원하는 영역의 국부적인 광학적 특성을 매핑(mapping)시킬 수 있다.

<58> 주사 과정에서 표면으로부터 반사된 신호빔의 위상변화로부터 표면의 구조적 형상을 알 수 있으며 진폭의 변화로부터 표면의 물질적 특성의 변화를 알 수 있다. 이는 기존의 주사 현미경이 갖는 단점을 크게 보완한 것으로 특히 바이오 소자나 소재, 반도체 소자 등의 고 분해능(high resolution) 복합 진단에 적용될 수 있다. 또한, 시료를 투과한 신호빔의 위상과 진폭은 시료를 구성하는 매질의 굴절률과 흡수계수에 의해 주어지기 때문에 I/Q-간섭계를 이용하여 투과된 빛의 위상과 진폭변화를 구분하여 측정함으로써 시료의 내부 구조와 물질에 대한 복합적인 진단이 가능하다. 따라서 일반적인 반도체 또는 바이오 시료에 대한 진단에 있어서 반사 및 투과 방식에 의한 진단을 함께 수행함으로써 시료에 대한 많은 구조적, 물질적 정보를 알 수 있다.

<59> 상기 헤테로다인 간섭계(100)는 신호빔을 제공하고 상기 신호빔은 시료에 집광 및 시준되어 상기 시료의 표면 정보를 포함하여 다시 간섭계(100)로 입력된 후, I-신호빔 및 Q-신호빔으로 변환되어 AD 컨버터(160)로 제공한다. 상기 헤테로다인 간섭계로부터 출력되는 I-신호빔 및 Q-신호빔은 상기 AD 컨버터(160)에서 디지털 신호로 변환된 후 컴퓨터(150)로 제공된다.

<60> 한편, 상기 컴퓨터(150)는 상기 시료가 놓인 XY 스캐너(130)의 이동을 제어하는 스캐너 구동장치(140)로 이동 제어신호를 전송하며, 상기 스캐너 구동장치(140)는 상기 전송된 이동제어신호에 따라 상기 XY 스캐너(130)의 이동을 제어한다. 상기 XY 스캐너(130)는 시료대를 신호빔의 진행 방향에 대해 수직한 두 방향으로 이동시키도록 구성된다.

<61> 상기 헤테로다인 간섭계(100)는 종래에 사용되는 헤테로다인 간섭계와 광학계는 동등하나 신호빔의 위상과 진폭을 구분하여 동시에 측정하기 위해서 도 6과 같은 RF 또는 마이크로파 통신에서 신호처리 소자로 사용되고 있는 I/Q-복조기를 사용한다.

<62> 전술한 본 발명에 따른 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경은 헤테로다인 간섭계의 형태에 따라 다양하게 구성할 수 있다. 이하, 본 발명에 따른 주사 현미경에 있어서, 헤테로다인 간섭계에 대한 실시예들을 설명한다.

<63> 도 7은 헤테로다인 간섭계에 대한 제1 실시예인 두 모드 레이저를 이용한 헤테로다인 I/Q-간섭계를 이용한 복합 기능 주사 현미경을 전체적으로 도시한 구성도이며, 도 8은 헤테로다인 간섭계에 대한 제2 실시예인 balanced detection 방식을 이용한 헤테로다인 I/Q-간섭계를 이용한 반사식 복합기능 주사 현미경을 전체적으로 도시한 구성도이며, 도 9는 헤테로다인 간섭계에 대한 제3 실시예인 광음향 변조기와 balanced detection 방식을 이용한 주사 현미경을 전체적으로 도시한 구성도이다.

<64> 제1 및 제2 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계의 경우, 광원으로는 서로 주파수가 다르게 안정화되어 있고 서로 수직으로 편광되어 있는 두 모드/두 편광(dual mode/dual polarization) 레이저를 광원으로 사용하며, 제3 실시예의 경우는 발진주파수가 안정화된 단일 모드 레이저를 광원으로 사용하며 서로 주파수가 다른 두 개의 빔살을 만들기 위해 광음향 변조기(AOM, acousto-optic modulator)를 사용한다.

<65> 이하, 도 7을 참조하여, 제1 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사현미경의 동작을 설명한다.

<66> 제1 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계에서 레이저로부터 출력된 두 모드, 두 편광 레이저 빔을 BS를 사용하여 두 개의 다른 경로로 나누어 주고 이들 중 하나의 빔살은 편광방향에 대하여 45도로 정렬된 편광판을 이용하여

서로 수직한 두 편광성분을 합쳐주고, 편광판으로부터 투과된 빛을 광검출기를 이용하여 주파수가 다른 두 모드 사이의 맥놀이 신호를 얻어 이를 I/Q-복조기의 LO(local oscillator) 신호로 사용한다. BS에 의해 갈라진 빛살은 그림에서와 같이 간섭계를 구성하는 데 활용하며 PBS(Polarizing Beam Splitter)를 이용하여 각각의 편광성분을 나누어 주어 한쪽 편광성분, 즉, 그림에서는 PBS로부터 반사된 성분은 기준빛으로 사용하고 PBS에서 투과된 편광성분은 신호빛으로 활용하는 간섭식 측정에서 많이 사용되는 변형된 마이켈슨(Michelson) 간섭계를 구성한다. 기준빛은 $\lambda/4$ -위상지연판을 거치면서 원형 편광된 빛으로 바뀌고 거울에서 반사되어 같은 경로를 따라 되돌아가면서 다시 $\lambda/4$ -위상지연판을 거치게 됨에 따라 원래의 편광방향에 대하여 편광방향이 90도 회전하여 이제 같은 경로를 따라 되돌아 온 빛은 PBS에서 투과를 한다. 한편 반사방식의 측정에서는 PBS를 투과한 신호빛은 $\lambda/4$ -위상지연판에 의해 원형으로 편광되고 현미경 대물렌즈와 같은 집광장치를 이용하여 시료에 표면에 초점이 맺히게 한다. 표면으로부터 반사된 신호빛은 다시 집광장치에 의해 시준이 되어 원래의 경로를 따라 되돌아가면서 다시 $\lambda/4$ -위상지연판을 지남에 따라 편광방향이 원래의 편광방향에 대해 90도 회전하여 PBS에서 반사하여 기준빛과 합쳐져서 한 개의 경로를 따라 진행하게 된다. 신호빛과 기준빛은 서로 수직으로 편광되어 있기 때문에 간섭을 일으키지 않으며 따라서 편광방향에 대해 45도 정렬된 편광판이나 PBS를 이용하여 이들을 간섭시키고 광검출기를 사용하여 이들 사이의 맥놀이 신호를 얻을 수 있다. PBS를 사용하는 경우 도 5와 같이 두 개의 광검출기와 차동증폭기를 이용하여 balanced detection을 할 수 있고, 도 7의 제1 실시예와 같이 편광판을 쓸 경우 광검출기로부터 출력된 맥놀이 신호에서 high pass filter나 band pass filter를 사용하여 DC 성분을 제거해주면 수학적 3과 같은 맥놀이 신호를 얻을 수 있다. 이와 같이 얻어진 맥놀이 신호를 I/Q-복조기의 RF 입력단에 입력시켜 수학적 4와 수학적 5의 형태로 주어지는 I 및 Q 신호를 얻을 수 있고 이를 A/D 변환기로 디지털화하여 컴퓨터에 입력시켜 수학적 6 및 수학적 7과 같은 연산을 하여줌으로써 신호빛에 유도된 위상과 진폭신호를 동시에 구분하여 측정할 수 있다.

<67> 도 8의 제2 실시예나 도 9의 제3 실시예와 같은 Mach-Zehnder 간섭계에서는 주파수가 다른 신호빛과 기준빛을 공간적으로 분리시켜 간섭계를 구성하는데, 도 8에는 반사방식 현미경의 예를 들었고, 도 9에는 투과방식 현미경의 예를 들었으나 두 가지 모두 투과방식과 반사방식을 적용시킬 수 있다.

<68> 컴퓨터에 연결되어 있는 XY 스캐너에 의해 정밀하게 위치를 바뀌가면서 관심 있는 영역을 주사함으로써 해당 영역에 대한 위상 및 진폭변화 맵(map)을 구할 수 있고 이를 통하여 시료 표면이나 내부의 구조와 재질에 대한 복합적인 현미경 진단이 가능하다.

<69> 이하, 도 8을 참조하여, 제2 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사현미경의 동작을 설명한다.

<70> 도 8의 헤테로다인 간섭계는 balanced detection방법을 이용한 투과 방식 간섭계를 나타내고 있다. 광원으로는 온도 조절을 통해 주파수를 안정화 시킨 두 모드 He-Ne 레이저 또는 두 모드로 발진하는 Zeeman laser를 사용할 수 있다. 또한 이 광원은 각각의 모드가 서로 다른 주파수를 가진다. 서로 수직한 방향으로 선형 편광된 두 모드는 BS1에 입사하며 투과와 반사를 통해서 빛살의 경로가 두 개로 나누어지게 된다. 이 중 반사된 경로의 빛살을 빛살의 광축에 대해서 45° 회전 되어있는 Polarizer를 통해서 두 모를 합쳐 주고 이 합쳐진 빛살은 PD1에 의해서 검출된다. 이 검출된 전기는 신호는 I/Q 복조기의 Local Oscillation 신호로 사용되게 된다. BS1을 통해서 투과된 빛살은 다시 PBS1에 의해서 투과와 반사의 경로로 나누어진다. PBS는 그 특성상 입사면에 대해서 수직한 방향으로 편광된 빛살은 반사, 수평한 방향으로 편광된 빛살은 투과시킨다. 따라서 각각의 경로에는 하나의 편광방향 빛살만이 존재하게 된다. PBS1에서 반사된 빛살은 전체 간섭계에 대해서 기준 빛살로 사용된다. PBS1를 투과한 빛살 본 간섭계에서 측정 빛살로 사용되고 이 빛살은 빛살의 광축에 대해서 45° 회전되어 있는 QWP를 투과하면서 선형편광이 원편광으로 변화하게 된다. 이 원편광된 빛살은 렌즈를 통해서 시료의 표면에 초점을 맺게 된다. 여기서 시료에 대한 표면 측정을 위해서 X-Y 축으로 이동할 수 있는 이송장치인 XY 스캐너가 사용되었으며 이 장치는 컴퓨터와 스캐너 구동 장치에 의해서 일정한 간격으로 이동하게 된다. 따라서 시료가 X-Y로 이동함에 따라 그 표면 정보는 렌즈에 의해 집광된 빛살의 위상 변화 값으로 그 정보를 표현하게 된다. 또한 이 집광된 빛살은 시료 표면에 의해서 반사되어 다시 집광 렌즈로 입사되어 평행광으로 만들어진다. 따라서 본 간섭계에서 사용된 렌즈는 집광과 시준 렌즈의 역할을 동시에 수행한다. 이렇게 시준된 빛살을 다시 QWP를 통과하면서 원편광이 선편광으로 변한다. 이 선편광 방향은 PBS1을 투과할 때의 방향과 수직한 방향이 된다. 즉, PBS1의 입사면에 대해서 수직한 방향을 가지게 된다. 따라서 PBS1을 통과하면서 반사하게 된다. 간섭계의 기준 빛살과 측정 빛살은 BS1에서 합쳐지고 PD2, PD4 그리고 차동 증폭기(Differential amplifier)로 구성된 balanced detection 방식에 의해서 검출된다. balanced detection 방식은 BS의 두 개의 출력단 즉, 반사와 투과를 통해서 나오는 두 빛살의 세기가 기준 빛살과 신호 빛살의 위상차이에 따라 변하며, 만약 한쪽 출력단으로 나오는 빛이 증강간섭이 일어나는 경우 다른 쪽 출력단으로 나오는 빛은 소멸간섭을 일으킨다. 즉, 각각의 출력

단으로 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. 이 방식으로 검출된 전기 신호는 I/Q 복조기의 Radio-Frequency 신호로 사용된다. I/Q 복조기를 통해서 복조화된 I와 Q신호는 A/D 컨버터(Analog-to-Digital converter)를 통해서 디지털 신호로 변환되어 컴퓨터로 보내어진다. 컴퓨터는 이 디지털 신호를 이용하여 위상과 세기 값을 통해서 시료의 표면에 대한 정보 값을 얻기 위한 연산을 수행한다.

<71> 이하, 도 9를 참조하여, 제3 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사현미경의 동작을 설명한다.

<72> 본 그림의 간섭계는 광음향변조기(Acousto-Optic Modulator: 이하 AOM이라 통칭함)와 Balanced Detection 방식을 이용한 헤테로다인 간섭계에 대한 구성도이다. 이 간섭계의 광원은 하나의 주파수와 한 모드로 편광된 빛살이 발진되는 레이저를 사용한다. 이 빛살은 AOM에 입사하게 된다. AOM에 입사한 빛살을 한 편광 모드에 대해서 빛살의 경로를 두 개로 나누고 하나의 경로에 대해서 초기 발진 주파수와 다른 주파수를 가지는 빛살을 만들어 주는 역할을 하게 된다. 이 주파수는 AOM의 frequency Driver를 통해서 조절해 줄 수 있고 이 조절된 주파수는 I/Q 복조기의 Local Oscillation 신호로 사용된다. AOM을 통해서 나누어진 두 빛살 중 Mirror1을 통해서 반사된 빛살은 전체 간섭계에 대한 기준 빛살로 사용된다. AOM에서 직선 경로를 따르는 빛살은 집광렌즈에 의해서 시료 표면에 초점이 맺히게 된다. 시료는 컴퓨터와 XY 스캐너에 의해서 일정한 간격으로 거리 이동이 조정되는 이송 장치에 고정되어 있다. 따라서 시료 표면에 초점이 맺힌 빛살은 시료가 이동함에 따라 변화하는 표면 정보를 위상 변화 정보로 가지게 된다. 이 빛살은 시료 표면을 투과하여 시준 렌즈를 통해서 평행광으로 만들어진다. 이 평행광은 Mirror3의 적절한 정렬에 의해서 BS로 입사하게 된다. 이 빛살은 Mirror2에 의해서 BS로 입사하는 기준 빛살과 합쳐진다. 이 합쳐진 빛살은 balanced detection 방식에 의해서 검출된다. 이 방식으로 검출된 전기 신호는 I/Q 복조기의 Radio-Frequency 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.

<73> 이상에서 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예를 중심으로 설명하였으나, 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 그리고, 이러한 변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부된 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

발명의 효과

<74> 본 발명에 따른 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경에 의하여, 시료로부터 투과 또는 반사된 신호빛에 유도되는 위상과 진폭변화를 동시에 측정하기 때문에 시료의 표면 또는 내부의 구조 및 재질에 대한 분석이 용이하다. 따라서 본 발명에서 개발된 I/Q-간섭계를 이용한 주사 현미경은 바이오 또는 반도체 소자나 소재를 복합적으로 진단할 수 있는 매우 유용하게 활용될 수 있다. 본 발명은 기존의 여러 가지 현미경들이 갖는 단점들을 보완한 것으로 반도체나 바이오 등 첨단 산업의 발전에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

<75> 전술한 본 발명에 따른 주사 현미경은 시료의 표면이나 내부에서 반사 또는 투과된 신호빛에 유도된 위상과 진폭변화를 동시에 구분하여 측정함으로써 표면이나 내부의 국부적인 구조 및 재질에 대한 복합적인 정보를 얻을 수 있으며 신호빛을 주사시킴으로써 원하는 영역에 대한 복합적인 진단을 할 수 있는 기능을 갖는 현미경이다. 또한, 본 발명에 따른 주사 현미경은 간섭계의 구조가 매우 간단하여 간섭계를 신뢰도가 높고 소형화된 모듈로 집적시킬 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 주사 현미경은 RF나 마이크로웨이브 통신에서 사용되고 있는 I/Q-복조 기술을 사용하여 신호빛에 유도된 위상과 진폭변화를 측정하기 때문에 신호처리 소자의 가격이 저렴하고 신뢰도가 높은 것이 특징이다.

<76>

도면의 간단한 설명

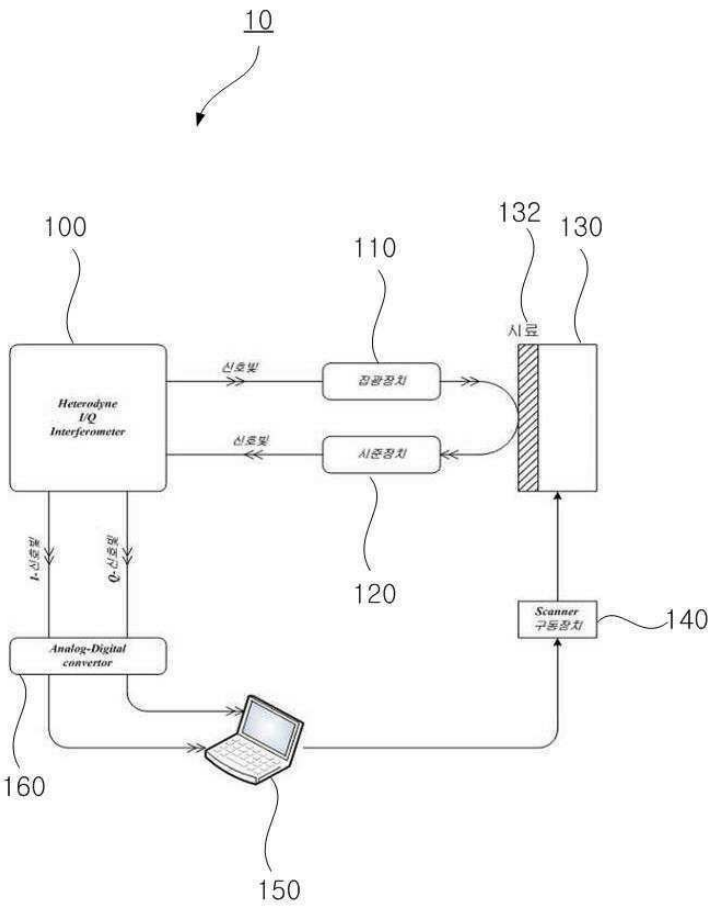
<1> 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계를 이용한 주사 현미경의 내부 구성을 도시한 블록도이다.

<2> 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 주사 현미경이 반사 방식으로 작동되는 경우, 신호빛이 집광 및 시준 장치에 의해 집광된 후 시료의 표면에 의해 반사되어 시준이 되는 경로를 도시한 것이다.

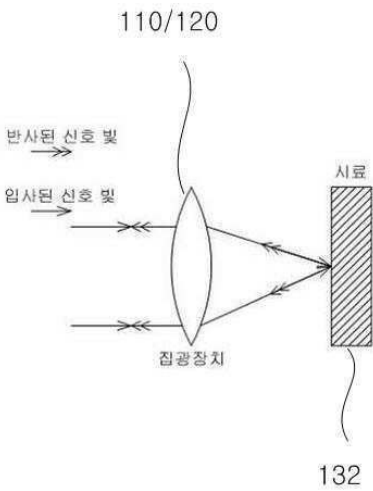
- <3> 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 주사 현미경에 있어서, 헤테로다인 간섭계의 신호빔 입출력단에 설치된 편광 빔살 가르개(PBS, polarizing beam splitter)에서의 신호빔의 경로를 도시한 것이다.
- <4> 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 주사 현미경이 투과 방식으로 작동되는 경우의 집광장치와 시준 장치 및 시료에서의 광경로를 도시한 것이다.
- <5> 도 5는 두 개의 광검출기와 차동증폭기를 이용한 balanced detection 방법을 설명하는 도면이다.
- <6> 도 6은 헤테로다인 간섭계에 사용되는 I/Q-복조기의 내부 구조를 도시한 블록도이다.
- <7> 도 7은 본 발명에 따른 주사 현미경에 있어서, 헤테로다인 간섭계에 대한 제1 실시예를 전체적으로 도시한 구성도이다.
- <8> 도 8은 본 발명에 따른 주사 현미경에 있어서, 헤테로다인 간섭계에 대한 제2 실시예를 전체적으로 도시한 구성도이다.
- <9> 도 9는 본 발명에 따른 주사 현미경에 있어서, 헤테로다인 간섭계에 대한 제3 실시예를 전체적으로 도시한 구성도이다.
- <10> <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>
- <11> 10 : 주사 현미경
- <12> 100 : 헤테로다인 간섭계
- <13> 110 : 집광(focusing) 장치
- <14> 120 : 시준(collimation) 장치
- <15> 130 : XY스캐너
- <16> 140 : 스캐너 구동 장치
- <17> 150 : 컴퓨터
- <18> 160 : A/D 컨버터

도면

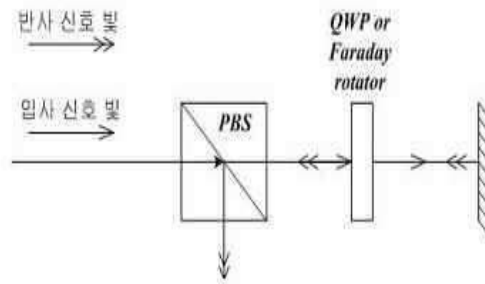
도면1



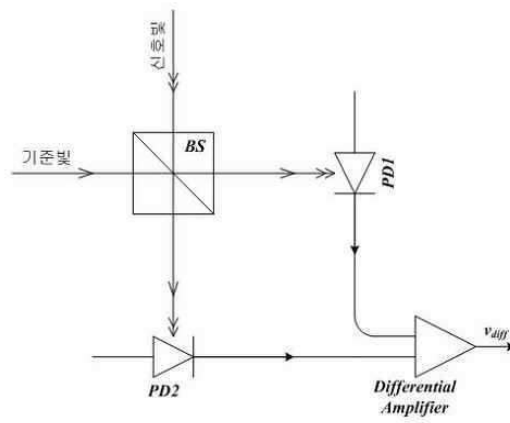
도면2



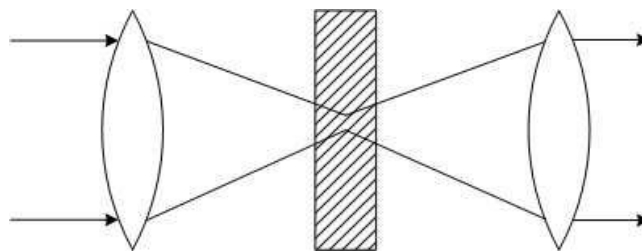
도면3



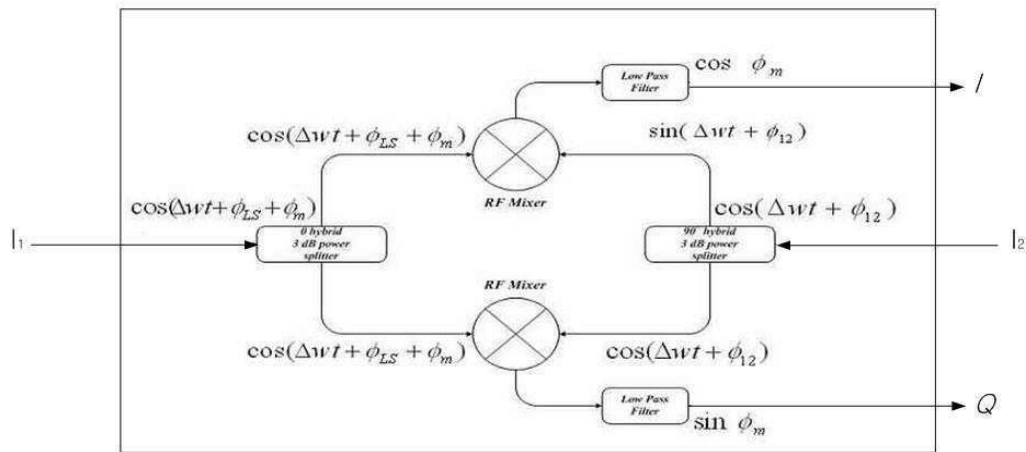
도면4



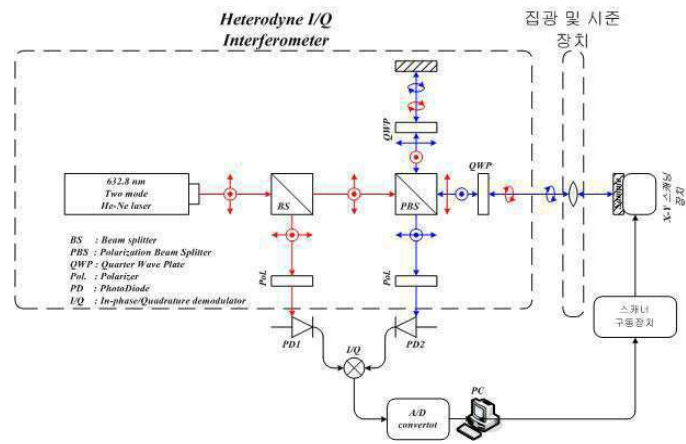
도면5



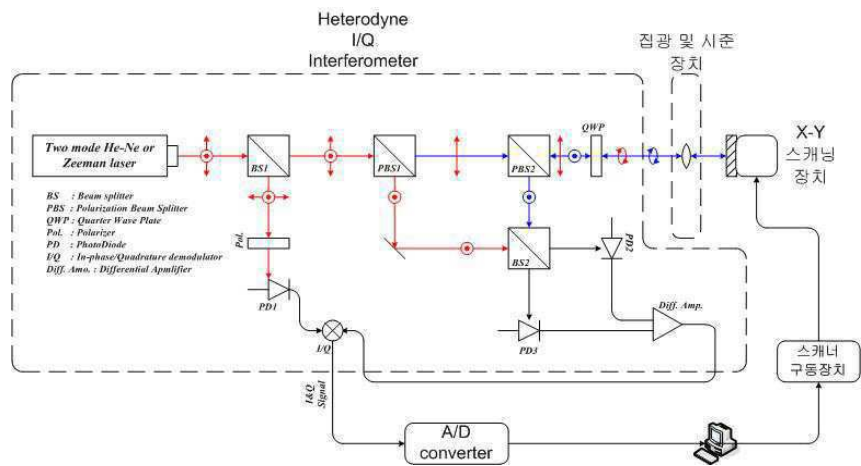
도면6



도면7



도면8



도면9

