



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0042694
(43) 공개일자 2012년05월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 9/02 (2006.01) G02F 1/133 (2006.01)
G02B 27/10 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0108718
(22) 출원일자 2011년10월24일
심사청구일자 2011년10월24일
(30) 우선권주장
1020100104252 2010년10월25일 대한민국(KR)

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
조규만
서울특별시 강북구 인수봉로79길 93, 현대빌라 4-201 (수유동)
박영규
인천광역시 남구 관교동 삼환2차아파트 201동 408호
(74) 대리인
이지연

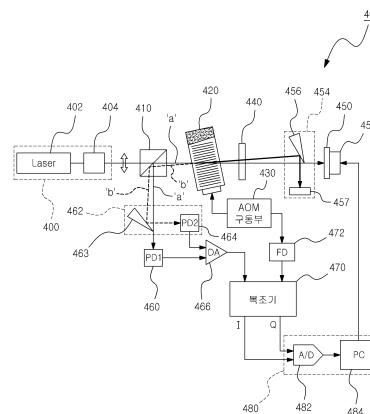
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 음향-광 변조기를 이용한 헤테로다인 간섭계

(57) 요약

본 발명은 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계이다. 상기 헤테로다인 간섭계는, 광원; 편광빔스플리터; 제1 빔살과 제2 빔살을 일정 각도로 분리하여 출력하는 음향 광 변조기(AOM); 구동 주파수(f_{RF})에 따라 AOM을 구동시키는 AOM 구동부; 상기 AOM으로부터 출력된 제1 빔살이 진행하는 경로상에 배치되어, 탐사빔(Signal beam)을 제공하는 제1 거울; 상기 AOM으로부터 출력된 제2 빔살이 진행하는 경로상에 고정되어 배치되어 기준빔(Reference beam)을 제공하는 제2 거울; 제1 거울을 움직이게 하는 거울 구동부; 상기 AOM과 거울들과의 사이에 배치되는 QWP; AOM으로부터 출력된 후 PBS에서 반사되어 제1 경로를 따라 진행하는 빔살들에 대한 제1 간섭 신호를 검출하여 출력하는 제1 광검출소자; AOM으로부터 출력된 후 PBS에서 반사되어 제2 경로를 따라 진행하는 빔살들에 대한 제2 간섭 신호를 검출하여 출력하는 제2 광검출소자; 제1 광검출소자 및 제2 광검출소자로부터 제1 간섭 신호 및 제2 간섭 신호의 차이값을 출력하는 차동 증폭기; 변조 주파수를 이용하여 차동 증폭기로부터 제공된 신호를 복조하여 탐사빔에 대한 위상 및 진폭변화를 검출하는 복조기; 를 구비한다.

대표도 - 도4



특허청구의 범위

청구항 1

단일 모드의 선형 편광 상태로 이루어지는 빛살을 제공하는 광원;

입사되는 빛살을 편광 상태에 따라 투과시키거나 반사시키는 편광빔스플리터(PBS);

PBS를 투과하여 입사되는 빛살을 제1 빛살과 구동 주파수(f_{RF})만큼 주파수 편향된 제2 빛살로 나누고, 제1 빛살과 제2 빛살을 일정 각도로 분리하여 출력하는 음향 광 변조기(AOM);

구동 주파수(f_{RF})로 AOM을 구동시키는 AOM 구동부;

상기 AOM으로부터 출력된 제1 빛살이 진행하는 경로상에 배치되어, 제1 빛살을 제1 빛살의 입사 경로를 따라 다시 반사시켜 탐사빔(Signal beam)을 제공하는 제1 거울;

상기 AOM으로부터 출력된 제2 빛살이 진행하는 경로상에 고정되어 배치되며, 입사되는 제2 빛살을 제2 빛살의 입사 경로를 따라 다시 반사시켜 기준빔(Reference beam)을 제공하는 제2 거울;

상기 제1 거울에 연결되며, 제1 거울을 움직이게 하는 거울 구동부;

상기 AOM 과 상기 제1 및 제2 거울들과의 사이에 배치되고, 제1 및 제2 거울에서 반사되어 다시 되돌아온 제1 및 제2 빛살을 원래의 편광방향과 90도가 되도록 편광상태를 회전시켜 출력하는 QWP;

AOM을 왕복하여 출력된 후 PBS에서 반사되어 동일 경로를 따라 진행하는 신호빔과 참조빔의 간섭 신호를 검출하여 출력하는 광검출소자; 및

AOM 구동부로부터 변조 주파수에 대한 정보를 제공받고, 상기 변조 주파수 를 이용하여 상기 광검출소자로부터 제공되는 간섭 신호를 복조하여 탐사빔에 대한 위상과 진폭변화를 검출하는 복조기;

를 구비하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 광원은

레이저, 및

상기 레이저로부터 출력된 광을 PBS의 광축 입사면에 수평으로 정렬하여 출력하는 광 분리기(Optical Isolator);로 이루어지는 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 AOM으로부터 출력되는 제1 빛살 및 제2 빛살 중 하나는 구동 주파수(f_{RF})에 의해 변조된 1차(First-order) 빛살이며, 다른 하나는 변조되지 않은 영차(Zero-order) 빛살인 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는

거울 구동부를 구동시키기 위한 구동 신호를 생성하여 거울 구동부를 구동시키는 제어부를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 주파수 체배기를 더 구비하고, 상기 주파수 체배기는 AOM 구동부로부터 제공되는 변조 주파수를 2배의 주파수로 변환하여 복조기로 출력하는 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 6

단일 모드의 선형 편광 상태로 이루어지는 빛살을 제공하는 광원;

입사되는 빛살을 편광 상태에 따라 투과시키거나 반사시키는 편광빔스플리터(PBS);

PBS를 투과하여 입사되는 빛살을 제1 빛살과 구동 주파수(f_{RF})만큼 주파수 편향된 제2 빛살로 나누고, 제1 빛살과 제2 빛살을 일정 각도로 분리하여 출력하는 음향 광 변조기(AOM);

구동 주파수(f_{RF})로 AOM을 구동시키는 AOM 구동부;

상기 AOM으로부터 출력된 제1 빛살이 진행하는 경로상에 배치되어, 제1 빛살을 제1 빛살의 입사 경로를 따라 다시 반사시켜 탐사빔(Signal beam)을 제공하는 제1 거울;

상기 AOM으로부터 출력된 제2 빛살이 진행하는 경로상에 고정되어 배치되며, 입사되는 제2 빛살을 제2 빛살의 입사 경로를 따라 다시 반사시켜 기준빔(Reference beam)을 제공하는 제2 거울;

상기 제1 거울에 연결되며, 제1 거울을 움직이게 하는 거울 구동부;

상기 AOM 과 상기 제1 및 제2 거울들과의 사이에 배치되고, 제1 및 제2 거울에서 반사되어 다시 되돌아온 제1 및 제2 빛살을 원래의 편광방향과 90도가 되도록 편광상태를 회전시켜 출력하는 QWP;

AOM을 왕복하여 출력된 후 PBS에서 반사되어 제1 경로를 따라 진행하는 빛살들에 대한 제1 간섭 신호를 검출하여 출력하는 제1 광검출소자;

AOM을 왕복하여 출력된 후 PBS에서 반사되어 제2 경로를 따라 진행하는 빛살들에 대한 제2 간섭 신호를 검출하여 출력하는 제2 광검출소자;

제1 광검출소자 및 제2 광검출소자로부터 제1 간섭 신호 및 제2 간섭 신호의 차이값을 출력하는 차동 증폭기; 및

상기 차동 증폭기로부터 제1 및 제2 간섭 신호의 차이값이 입력되고, AOM 구동부로부터 구동 주파수를 제공받고, 상기 구동 주파수를 이용하여 차동 증폭기로부터 제공된 신호를 복조하여 탐사빔에 대한 위상과 진폭 변화를 검출하는 복조기;

를 구비하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 광원은

레이저, 및

상기 레이저로부터 출력된 광을 P파로 정렬하여 출력하는 광 분리기(Optical Isolator);로 이루어지는 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 AOM으로부터 출력되는 제1 빛살 및 제2 빛살 중 하나는 구동 주파수(f_{RF})에 의해 변조된 1차(First-order) 빛살이며, 다른 하나는 변조되지 않은 영차(Zero-order) 빛살인 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 9

제6항에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는

거울 구동부를 구동시키기 위한 구동 신호를 생성하여 거울 구동부를 구동시키는 제어부를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 10

제6항에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 주파수 체배기를 더 구비하고, 상기 주파수 체배기는 AOM 구동부로

부터 제공되는 구동 주파수를 2배의 주파수로 변환하여 복조기로 출력하는 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 11

제6항에 있어서, 제1 간섭 신호 및 제2 간섭 신호는 모두 구동 주파수의 2배의 주파수($2f_{RF}$)를 갖는 것을 특징으로 하며, 제1 간섭 신호 및 제2 간섭 신호의 위상차는 180° 인 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

청구항 12

제6항에 있어서, 제2 광검출기는 PBS로부터 반사된 빛살들이 진행하는 경로상에 비스듬히 배치된 D-Shaped 거울 및 상기 D-Shaped 거울로부터 반사된 빛살들이 진행하는 경로상에 배치된 광검출기로 구성되는 것을 특징으로 하는 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 음향-광 변조기(AOM)를 이용한 헤테로다인 간섭계에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 기존의 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 비하여 광학계가 간단하기 때문에 소형화가 가능하고, 추가의 복잡한 광학계의 구성없이도 Balanced Detection이 가능하도록 하여 진동이나 소리 등 환경적인 요인에 의한 잡음에 영향을 적게 받아 항상 최고의 감지율(sensitivity)을 유지할 수 있는 음향 광학 소자를 이용한 헤테로다인 간섭계에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 두 빛살 간섭계는 탐사빛살(probe beam)과 기준빛살(reference beam)로 구성되는데 측정하고자 하는 물리적인 변화에 의해 탐사빛살에 유도된 위상변화나 진폭 변화를 기준빛살과의 믹싱(mixing)을 통해 복조시킴으로써 해당 물리량을 매우 높은 정밀도로 측정할 수 있다. 이와 같은 두 빛살 간섭계에서 탐사빛살과 기준빛살의 주파수가 같은 경우를 호모다인(homodyne) 간섭계라고 하고 두 빛살의 주파수가 다른 경우를 헤테로다인(heterodyne) 간섭계라고 한다. 호모다인 간섭계의 경우 위상 및 진폭변화를 직접 베이스밴드(baseband)로 복조(demodulation)시킬 수 있는 반면, 헤테로다인 간섭계의 경우는 두 빛살의 주파수가 다르기 때문에 위상 및 진폭변화를 측정하기 위해서는 탐사빛과 기준빛의 믹싱에 의해 주어지는 IF(Intermediate Frequency) 신호에 대한 추가 복조과정이 필요하다.

[0003] 이와 같이 추가 복조 과정이 필요함에도 불구하고 헤테로다인 간섭계가 센서 응용에 널리 사용되는 이유는 RF 통신 등에 사용되는 전형적인 복조기술들을 활용함으로써 간편하고 효과적인 신호처리가 가능하기 때문이다. 예를 들어, RF 통신에서 널리 사용되고 있는 I/Q-복조 기술을 적용할 경우 복잡한 광학계를 사용하지 않더라도 쉽게 위상과 진폭변화를 구분해서 정밀하게 측정할 수 있기 때문에 센서 응용에 이상적이다.

[0004] 헤테로다인 간섭계를 구성하기 위해서는 주파수가 서로 다르고 결맞는(coherent) 탐사빛살과 기준빛살이 필요하다. 이제까지 서로 주파수가 다른 두 개의 빛살들을 만들어주기 위하여 다양한 방법들이 제안되어 왔는데, 그들 중 광-음향 변조기(acousto-optic modulator; AOM)를 이용하는 방법이 가장 널리 사용되고 있다. AOM의 광-음향 매질에 RF 주파수 대역에 해당하는 고주파 음향 정상파(acoustic standing wave)를만들어 주면 빛과 음파와의 상호작용에 의해 이를 투과하는 빛의 주파수가 AOM 구동주파수(f_{RF})의 정수배만큼 편이(shift)되는데 이때, 음파면으로 입사되는 빛의 입사각도와 출력빛의 각도는 Bragg 정합조건(matching condition)에 의해 주어지며 입사되는 빛의 각도에 따라 출력빛의 주파수가 상향편이(up-shift)되기도 하고 하향편이(down-shift)되기도 한다. 주파수 편이가 없이 투과되는 빛을 0차(zero order)로 편향된(deflected) 빛살이라고 하며, 주파수가 $f_0 \pm f_{RF}$ 로 편이되어 Bragg 정합조건에 맞는 각도로 출력되는 빛살을 1차(first order)로 편향된 빛살이라고 부른다. Bragg 정합조건이 맞으면 2차 이상으로 편향된 빛살들도 발생시킬 수 있는데 차수가 커질수록 효율이 줄어들기 때문에 주로 1차로 편향된 빛을 간섭계에 활용한다.

[0005] 도 1은 일반적인 광-음향 변조기의 동작을 설명하기 위하여 도시한 그림이다. 도 1에 도시된 바와 같이, AOM으로 입사된 빛살(Incident Beam)은 주파수의 변조없는 영차 빛살(Zero-Order Beam), AOM 구동 주파수만큼 주파

수가 상향 편이된 1차 빔살(First-Order Beam)로 나뉘며, 이들 빔살들은 일정 각도로 분리되어 출력된다. 이와 같이, AOM을 이용하여 발생시키되, 공간적으로 분리되고 주파수가 다른 두 빔살을 이용하여 헤테로다인 간섭계를 구성할 수 있다.

[0006] 도 2는 AOM에서 출력된 0차 및 1차로 편향된 빛을 이용하여 구성된 헤테로다인 간섭계의 일례로 도시한 것으로서, 변형된 Mach-Zehnder 간섭계 구조를 갖는 것이 특징이며 다양한 센서 응용에 적용되어 왔다. 세 개의 거울과 한 개의 beam splitter를 사용하여 간섭계를 구성하였으며 0차 또는 1차 빔살 중 하나를 탐사빔으로 활용한다. 탐사빔이 지나가는 경로를 탐사팔(probe arm)이라고 하며, 이 경로에 센서요소(sensor element)를 삽입하여 측정하고자 하는 물리량의 변화에 따라 탐사빔에 위상 또는 진폭 변화를 유도시킨다. 예를 들어, 탐사팔 경로에 온도, 압력, 전기장 등의 변화에 따라 광학길이가 달라지는 센서요소를 삽입하였을 경우 탐사빔의 위상 변화를 측정함으로써 센서요소에 가해지는 온도, 압력, 전기장 등의 변화를 측정할 수 있다. 이와 같은 구조의 헤테로다인 간섭계를 이용한 센서는 센서요소를 탐사광 광로에 삽입시켜야 하기 때문에 응용이 제한적이며, 도 2에서 볼 수 있듯이 세 개의 거울과 빔살 가르개(beam splitter)를 이용하여 구성된 광학계의 구조가 복잡하고, 탐사빔과 기준빔이 공간적으로 멀리 떨어져 있기 때문에 음향잡음, 공기의 움직임, 온도변화 등에 의해 발생하는 국부적인 굴절률 변화에 의한 잡음에 영향을 받는다.

[0007] 도 3은 AOM에서 출력된 0차 및 1차로 편향된 빛을 이용하여 구성된 헤테로다인 간섭계의 또 다른 예를 도시한 것으로서, 변형된 Michelson 간섭계 구조를 갖는 것이 특징이며 여러가지 센서에 다양하게 적용되어 왔다. 센서요소를 적용하는데 있어서 도 2의 변형된 Mach-Zehnder 방식보다 수월하다는 장점이 있으나 탐사빔과 기준빔을 간섭시키기 위하여 각각의 편광상태에 대하여 45도로 정렬된 편광기(polarizer)나 편광빔살가르개(PBS:polarizing beam splitter)를 사용해야 하는 등 광학계 구성이 좀 더 복잡하고, 환경에 의한 잡음에 민감하다는 단점을 가지고 있다.

[0008] 한편, AOM의 또 다른 응용으로 1차로 편향된 빛의 왕복 전파(double pass)를 이용한 주파수 튜닝 장치가 Chang 등에 의해 제안되었다. AOM에서 PBS를 통과한 빛을 Bragg 정합조건에 맞는 각도로 AOM에 입사시키면 첫번째 광-음향 상호작용에 의해 주파수가 f_{RF} 만큼 편이된 1차로 편향된 빛이 만들어지고, 이 빛을 반사시켜 같은 경로를 따라 되돌아가게 하면 광-음향 매질과의 2차 상호작용에 의해 되돌아가는 경로에서 1차로 편향되는 빛은 주파수가 f_{RF} 만큼 추가로 편이가 되며 처음 AOM으로 입사된 빛과 동일한 경로를 따라 되돌아가게 된다. 이제 AOM과 1차 편향된 빛을 반사시키는 거울 사이에 QWP(quarter-wave plate)를 삽입시키면 입사빔과 같은 경로를 따라 되돌아가는 빛의 편광은 입사빔의 편광방향에 대하여 90도 회전을 하게 되므로 PBS에서 반사가 일어난다. 따라서, AOM 구동주파수에 따라 주파수가 튜닝되는 출력광을 얻을 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 전술한 문제점들을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 광학계의 구조가 매우 간단하면서도 검지율이 우수한 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계를 제공하는 것이다.

[0010] 본 발명의 다른 목적은 AOM을 이용하여 광학계의 구조가 간단하면서도 Balanced Detection이 가능한 헤테로다인 간섭계를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 제1 특징에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계는, 단일 모드의 선형 편광 상태로 이루어지는 빔살을 제공하는 광원; 입사되는 빔살을 편광 상태에 따라 투과시키거나 반사시키는 편광빔스플리터(PBS); PBS를 투과하여 입사되는 빔살을 제1 빔살과 구동 주파수(f_{RF})만큼 주파수 편향된 제2 빔살로 나누고, 제1 빔살과 제2 빔살을 일정 각도로 분리하여 출력하는 음향 광 변조기(AOM); 구동 주파수(f_{RF})로 AOM을 구동시키는 AOM 구동부; 상기 AOM으로부터 출력된 제1 빔살이 진행되는 경로상에 배치되어, 제1 빔살을 제1 빔살의 입사 경로를 따라 다시 반사시켜 탐사빔(Signal beam)을 제공하는 제1 거울; 상기 AOM으로부터 출력된 제2 빔살이 진행되는 경로상에 고정되어 배치되며, 입사되는 제2 빔살을 제2 빔살의 입사 경로를 따라 다시 반사시켜 기준빔(Reference beam)을 제공하는 제2 거울; 상기 제1 거울에 연결되며, 제1 거울을 움직이게 하는 거울 구동부; 상기 AOM 과 상기 제1 및 제2 거울들과의 사이에 배치되고, 제1 및 제2 거울에서 반사되어 다시 되돌아온 제1 및 제2 빔살을 원래의 편광방향과 90도가 되도록 편광상태를 회전시켜 출력하는 QWP; AOM

을 왕복하여 출력된 후 PBS에서 반사되어 동일 경로를 따라 진행하는 신호빔과 참조빔의 간섭 신호를 검출하여 출력하는 광검출소자; 및 AOM 구동부로부터 변조 주파수에 대한 정보를 제공받고, 상기 변조 주파수를 이용하여 상기 광검출소자로부터 제공되는 간섭 신호를 복조하여 탐사빔에 대한 위상과 진폭변화를 검출하는 복조기를 구비한다.

[0012] 전술한 제1 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 상기 광원은 레이저, 및 상기 레이저로부터 출력된 광을 PBS의 광축 입사면에 수평으로 정렬하여 출력하는 광 분리기(Optical Isolator);로 이루어지는 것이 바람직하다.

[0013] 전술한 제1 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 상기 AOM으로부터 출력되는 제1 빔 및 제2 빔 중 하나는 구동 주파수(f_{RF})에 의해 변조된 1차(First-order) 빔이며, 다른 하나는 변조되지 않은 영차(Zero-order) 빔인 것이 바람직하다.

[0014] 전술한 제1 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 거울 구동부를 구동시키기 위한 구동 신호를 생성하여 거울 구동부를 구동시키는 제어부를 더 구비하는 것이 바람직하다.

[0015] 전술한 제1 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 주파수 체배기를 더 구비하고, 상기 주파수 체배기는 AOM 구동부로부터 제공되는 변조 주파수를 2배의 주파수로 변환하여 복조기로 출력하는 것이 바람직하다.

[0016] 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 제2 특징에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계는 단일 모드의 선형 편광 상태로 이루어지는 빔을 제공하는 광원; 입사되는 빔을 편광 상태에 따라 투과시키거나 반사시키는 편광빔스플리터(PBS); PBS를 투과하여 입사되는 빔을 제1 빔과 구동 주파수(f_{RF})만큼 주파수 편향된 제2 빔으로 나누고, 제1 빔과 제2 빔을 일정 각도로 분리하여 출력하는 음향 광 변조기(AOM); 구동 주파수(f_{RF})로 AOM을 구동시키는 AOM 구동부; 상기 AOM으로부터 출력된 제1 빔이 진행하는 경로상에 배치되어, 제1 빔을 제1 빔의 입사 경로를 따라 다시 반사시켜 탐사빔(Signal beam)을 제공하는 제1 거울; 상기 AOM으로부터 출력된 제2 빔이 진행하는 경로상에 고정되어 배치되며, 입사되는 제2 빔을 제2 빔의 입사 경로를 따라 다시 반사시켜 기준빔(Reference beam)을 제공하는 제2 거울; 상기 제1 거울에 연결되며, 제1 거울을 움직이게 하는 거울 구동부; 상기 AOM 과 상기 제1 및 제2 거울들과의 사이에 배치되고, 제1 및 제2 거울에서 반사되어 다시 되돌아온 제1 및 제2 빔을 원래의 편광방향과 90도가 되도록 편광상태를 회전시켜 출력하는 QWP; AOM을 왕복하여 출력된 후 PBS에서 반사되어 제1 경로를 따라 진행하는 빔들에 대한 제1 간섭 신호를 검출하여 출력하는 제1 광검출소자; AOM을 왕복하여 출력된 후 PBS에서 반사되어 제2 경로를 따라 진행하는 빔들에 대한 제2 간섭 신호를 검출하여 출력하는 제2 광검출소자; 제1 광검출소자 및 제2 광검출소자로부터 제1 간섭 신호 및 제2 간섭 신호의 차이값을 출력하는 차동 증폭기; 및 상기 차동 증폭기로부터 제1 및 제2 간섭 신호의 차이값이 입력되고, AOM 구동부로부터 구동 주파수를 제공받고, 상기 구동 주파수를 이용하여 차동 증폭기로부터 제공된 신호를 복조하여 탐사빔에 대한 위상과 진폭변화를 검출하는 복조기;를 구비한다.

[0017] 전술한 제2 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 상기 광원은 레이저, 및 상기 레이저로부터 출력된 광을 P파로 정렬하여 출력하는 광 분리기(Optical Isolator);로 이루어지는 것이 바람직하다.

[0018] 전술한 제2 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 상기 AOM으로부터 출력되는 제1 빔 및 제2 빔 중 하나는 구동 주파수(f_{RF})에 의해 변조된 1차(First-order) 빔이며, 다른 하나는 변조되지 않은 영차(Zero-order) 빔인 것이 바람직하다.

[0019] 전술한 제2 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 거울 구동부를 구동시키기 위한 구동 신호를 생성하여 거울 구동부를 구동시키는 제어부를 더 구비하는 것이 바람직하다.

[0020] 전술한 제2 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 상기 헤테로다인 간섭계는 주파수 체배기를 더 구비하고, 상기 주파수 체배기는 AOM 구동부로부터 제공되는 구동 주파수를 2배의 주파수로 변환하여 복조기로 출력하는 것이 바람직하다.

[0021] 전술한 제2 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 제1 간섭 신호 및 제2 간섭

신호는 모두 구동 주파수의 2배의 주파수($2f_{RF}$)를 갖는 것을 특징으로 하며, 제1 간섭 신호 및 제2 간섭 신호의 위상차는 180° 인 것이 바람직하다.

[0022] 전술한 제2 특징에 따른 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계에 있어서, 제2 광검출기는 PBS로부터 반사된 빔살들이 진행하는 경로상에 비스듬히 배치된 D-Shaped 거울 및 상기 D-Shaped 거울로부터 반사된 빔살들이 진행하는 경로상에 배치된 광검출기로 구성되는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계는 AOM을 Double-pass로 구성함으로써, 단일의 AOM과 적은 수의 광학계를 사용하여 전체 시스템의 구조를 간단하게 구현할 수 있으며, 빔정렬도 쉽게 구현할 수 있다. 또한, RF 복조기를 사용함으로써 신호의 복조를 저가로 구현할 수 있게 된다.

[0024] 또한, 본 발명에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계는 단일의 AOM과 적은 수의 광학계를 사용함으로써, 전체 크기를 최소화시킬 수 있다.

[0025] 또한, 본 발명에 따른 간섭계는 AOM의 변조된 빔살과 변조되지 않은 빔살의 위상차가 90° 인 특성을 이용하여, 2개의 광검출기와 차동 증폭기를 사용하여 Balanced Detection을 구현할 수 있다. 따라서, 본 발명에 따른 간섭계는 간단하게 Balanced Detection을 구현하여 검지율의 정확성을 향상시키게 된다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 일반적인 음향-광 변조기의 동작을 설명하기 위하여 도시한 그림이다.

도 2는 종래의 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계를 도시한 것이다.

도 3은 종래의 Double-Pass AOM을 도시한 것이다.

도 4는 본 발명의 제1 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계를 도시한 구조도이다.

도 5는 본 발명의 제1 실시예에 따른 복조기(470)의 입력 및 출력 신호를 도시한 블록도이다.

도 6은 AOM으로 입사된 빔살들과 AOM에 의해 변조되어 출력된 빔살들을 설명하기 위하여 도시한 그림으로서, 도 6의 (a)는 AOM을 통과하는 단일 경로(Single Pass)에서의 빔살들을 도시한 것이며, 도 6의 (b)는 AOM을 통과한 후 거울들에 의해 반사되어 다시 AOM으로 입사되는 이중 경로(Double Pass)에서의 빔살들을 도시한 것이다.

도 7은 본 발명의 제2 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계를 도시한 구조도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 제1 실시예에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계의 구조 및 동작을 구체적으로 설명한다. 본 발명의 제1 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계는 AOM을 이용한 Double-Pass 헤테로다인 간섭계로서, 광학계의 구조가 매우 간단하다.

[0028] 도 4는 본 발명의 제1 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계를 도시한 구조도이다. 도 4를 참조하면, 본 발명의 제1 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계(40)는 광원(400), PBS(410), AOM(420), AOM 구동부(430), QWP(440), 제1 거울(450), 제2 거울(454), 거울 구동장치(458), 제1 광검출기(460), 제2 광검출기(462), 차동증폭기(466), 복조기(470) 및 제어부(480)를 구비한다.

[0029] 상기 광원(400)은 단일 모드의 선형 편광 상태로 이루어지는 빔살을 제공하는 것으로서, 레이저(402) 및 상기 레이저로부터 출력된 광을 PBS의 광축 입사면에 수평으로 정렬된 상태, 즉, P파로 정렬하여 출력하는 광 분리기(Optical Isolator)(404)로 이루어진다. 따라서, 상기 광원(400)은 P파로 정렬된 빔살을 PBS(410)로 제공한다.

[0030] 편광빔스플리터(PBS; 410)는 입사되는 빔살을 편광 상태에 따라 투과시키거나 반사시키는 소자로서, P파는 그대로 투과하고 S파는 입사각과 수직되게 반사시킨다. 따라서, PBS는 광원(400)으로부터 제공되는 P파를 그대로 투과시켜 AOM(420)으로 제공한다.

[0031] 음향 광 변조기(AOM)은 AOM 구동부(430)에 의해 구동 주파수(f_{RF})로 진동하게 되고, 그 결과 입사되는 빔살의 일부는 변조없이 원래 주파수(f_0)를 그대로 갖는 영차(Zero-order) 빔살로 출력되고, 입사되는 빔살의 일부는 구

동 주파수(f_{RF})에 의해 변조되어 1차(First-order) 빔살로 출력된다. 이때, 1차 빔살은 회절되어 출력되므로, f_0 의 주파수를 갖는 영차 빔살과 $f_0 + f_{RF}$ 의 주파수를 갖는 1차 빔살은 서로 일정 각도로 분리하여 출력되며, 50:50의 동일한 빔세기를 갖는다. AOM으로 입사된 P파의 빔살들은 AOM을 통과함에 따라 AOM의 특성에 의해 P파로부터 90° 회전된 선형 편광 상태인 S파가 된다.

[0032] 한편, 상기 AOM 구동부(430)는 구동 주파수(f_{RF})에 따라 AOM을 구동시키고, 신호빔의 검출을 위하여 구동 주파수(f_{RF})에 대한 정보를 복조기(470)로 제공한다.

[0033] $\lambda/4$ -위상지연판인 QWP(Quarter-Wave Plate;440)는 45°로 정렬되어 있기 때문에, S파의 선형 편광이 입사되면 원형 편광으로 변환시켜 출력하게 되며, 원형 편광이 입사되면 P파의 선형 편광으로 변환시켜 출력한다. 상기 QWP(440)는 제1 거울(450) 및 제2 거울(454)과 AOM(420)의 사이에 배치되어, 제1 거울(450) 및 제2 거울(454)에서 반사되어 다시 되돌아온 제1 및 제2 빔살을 원래의 편광방향과 90도가 되도록 편광상태를 회전시켜 출력한다.

[0034] 제1 거울(450)은 거울 구동부(458)에 연결되며, 상기 AOM으로부터 출력된 빔살 중 하나가 진행하는 경로상에 수직되게 배치된다. 상기 제1 거울(450)은 입사된 빔살을 재반사시켜 입사된 경로를 따라 출력하게 되는데, 거울 구동부(458)에 의해 움직인 거리 정보를 위상 변화 정보에 포함시킨 탐사빔(Signal beam)을 제공한다. 상기 거울 구동부(458)는 상기 제1 거울(450)에 연결되며, 제1 거울을 사전에 설정된 정보에 따라 움직이게 한다. 상기 거울 구동부(458)는 제어부(480)로부터 제공되는 구동 신호에 따라 동작한다.

[0035] 상기 제2 거울(454)은 고정된 D-Shaped 거울(456) 및 고정된 거울(457)로 구성되며, D-Shaped 거울은 AOM으로부터 출력된 빔살 중 다른 하나가 진행하는 경로상에 배치되고, 거울(457)은 D-Shaped 거울(456)로부터 수직되게 반사된 빔살이 진행하는 경로상에 진행경로와 수직되게 배치된다. 그 결과, AOM으로부터 출력된 빔살은 D-Shaped 거울(456) 및 거울(457)로 진행하고 다시 거울(457) 및 D-Shaped 거울(456)을 통해 AOM으로 재입사되어, 기준빔(Reference beam)을 제공한다. 본 발명에 따른 간섭계의 제2 거울의 다른 실시 형태는 고정된 단일의 거울만으로 구성될 수도 있으며, 상기 AOM으로부터 출력된 빔살 중 다른 하나가 진행하는 경로상에 진행 경로와 수직되게 배치되어, 입사된 빔살을 입사된 경로를 따라 재반사시켜 기준빔(Reference beam)을 제공한다.

[0036] 제1 거울 및 제2 거울로부터 반사된 탐사빔과 기준빔은 QWP(440)를 통과한 후 AOM(420)에서 재변조되어 PBS(410)로 진행한다. 제1 거울과 제2 거울에서 반사된 두 빔살은 QWP를 통과하면서 원형 편광에서 P 편광상태가 된다. 또한, AOM으로 재입사한 각각의 빔살들은 다시 변조되지 않은 영차 빔살과 구동 주파수에 의해 변조된 일차 빔살로 나뉘어 출력된다. 따라서, 이미 한번 주파수 변조된 빔살이 다시 주파수 변조에 따라, AOM으로부터 출력되는 두 빔살의 주파수 차이값, 즉 beat frequency는 AOM의 변조 주파수(f_{RF})의 2배가 된다. 또한, AOM을 통과한 빔살은 90° 회전하여 S파로 변환된다.

[0037] 도 6은 AOM으로 입사된 빔살들과 AOM에 의해 변조되어 출력된 빔살들을 설명하기 위하여 도시한 그림으로서, 도 6의 (a)는 AOM을 통과하는 단일 경로(Single Pass)에서의 빔살들을 도시한 것이며, 도 6의 (b)는 AOM을 통과한 후 거울들에 의해 반사되어 다시 AOM으로 입사되는 이중 경로(Double Pass)에서의 빔살들을 도시한 것이다. 도 6의 (a)를 참조하면, 주파수(f_0)를 갖는 P편광의 빔살(a1)이 AOM(60)으로 입사되고, AOM으로 입사된 빔살(a1)은 0차 빔살(a3)과 AOM의 구동주파수(f_{RF})로 변조된 1차 빔살(a2)로 나뉘어 출력된다. 즉, 0차 빔살(a3)은 주파수(f_0)를 가지며, 1차 빔살(a2)은 변조되어 주파수($f_0 + f_{RF}$)를 가지게 된다. AOM으로부터 출력된 0차 빔살(a3)은 QWP(62)를 통과하면서 45° 회전하여 원형편광으로 변환되어 거울(66)로 입사하게 되며, AOM으로부터 출력된 1차 빔살(a2)은 QWP(62)를 통과하면서 45° 회전하여 원형편광으로 변환되어 거울(64)로 입사하게 된다.

[0038] 도 6의 (b)를 참조하면, 도 6의 (a)와 동일하게 주파수(f_0)의 0차 빔살(b2) 및 주파수($f_0 + f_{RF}$)의 1차 빔살(b1)이 각각 거울(66 및 64)에서 반사되어 QWP(62)를 통과하여 AOM(60)으로 재입사하게 된다. AOM으로 재입사된 0차 빔살(b2)은 AOM을 그대로 통과하는 0차 빔살(b4)과 AOM의 구동주파수(f_{RF})로 변조된 1차 빔살(b6)로 나뉘어 서로 일정각도 이격되어 출력된다. 즉, 주파수(f_0)의 0차 빔살(b2)은 주파수(f_0)의 0차 빔살(b4)과 주파수($f_0 - f_{RF}$)의 1차 빔살(b6)로 나뉘어 출력된다. 한편, AOM으로 재입사된 1차 빔살(b1)은 AOM을 그대로 통과하는 0차 빔살(b5)과 AOM의 구동주파수(f_{RF})로 변조된 1차 빔살(b3)로 나뉘어 서로 일정각도 이격되어 출력된다. 즉, 주파수

$(f_0 + f_{RF})$ 의 1차 빔살(b1)은 주파수 $(f_0 + f_{RF})$ 의 0차 빔살(b5)과 주파수 $(f_0 + 2f_{RF})$ 의 1차 빔살(b3)로 나뉘어 출력된다. 여기서, 주파수 $(f_0 + 2f_{RF})$ 의 1차 빔살(b3)과 주파수 (f_0) 의 0차 빔살(b4)은 서로 동일한 제1 경로를 따라 진행하며, 주파수 $(f_0 + f_{RF})$ 의 0차 빔살(b5)과 주파수 $(f_0 - f_{RF})$ 의 1차 빔살(b6)도 서로 동일한 제2 경로를 따라 진행하게 되며, 제1 경로와 제2 경로는 서로 일정각도 이격된다.

[0039] PBS(410)로 입사된 빔살들은 모두 S 편광상태로서, 제1 경로('a')를 따라 입사된 빛은 PBS에 의해 반사되어 제1 광검출 소자(460)로 진행하며, 제2 경로('b')를 따라 입사한 빛은 PBS에 의해 반사되어 제2 광검출 소자(462)로 진행한다.

[0040] 제1 광검출 소자(460)는 주파수 $f_0 + 2f_{RF}$ 의 1차 빔살(b3)과 주파수 f_0 의 0차 빔살(b4)이 입사되고, 입사된 빔살들에 대한 주파수 $2f_{RF}$ 의 제1 간섭 신호(I_1)를 차동증폭기(464)로 출력한다. 한편, 제2 광검출 소자(462)는 주파수 $f_0 + f_{RF}$ 의 0차 빔살(b5)과 주파수 $f_0 - f_{RF}$ 의 1차 빔살(b6)이 입사되고, 입사된 빔살들에 대한 주파수 $2f_{RF}$ 의 제2 간섭 신호(I_2)를 차동증폭기(Differential Amplifier; 464)로 출력한다. 전술한 제1 간섭 신호 및 제2 간섭 신호는 수학식 1 및 2로 표현될 수 있다.

수학식 1

$$I_1 = I_s + I_L + 2\sqrt{I_s I_L} \sin(\Delta\omega t + \Delta\phi_1)$$

[0041]

수학식 2

$$I_2 = I_s + I_L + 2\sqrt{I_s I_L} \sin(\Delta\omega t + \Delta\phi_2)$$

[0042]

[0043] 여기서, I_s 및 I_L 은 간섭신호의 DC성분이며, $\Delta\phi_1$ 및 $\Delta\phi_2$ 는 초기위상값을 나타낸다.

[0044] 차동증폭기(464)는 제1 광검출소자(460) 및 제2 광검출소자(462)로부터 각각 제1 및 제2 간섭신호들이 입력되고, 입력된 간섭신호들의 차이값($I_1 - I_2$)을 검출하여 복조기(470)로 출력한다. 한편, 일반적으로 AOM으로부터 출력된 변조되지 않은 0차 빔살과 1번 변조된 1차 빔살은 90° 의 위상차를 갖게 된다. 따라서, 전술한 제1 간섭 신호와 제2 간섭 신호의 위상차는 2번 변조에 의하여 180° 의 위상차($\Delta\phi_2 - \Delta\phi_1 = \pi$)를 갖게 되고, 그 결과, 수학식 2는 수학식 3으로 다시 정리할 수 있게 된다.

수학식 3

$$I_2 = I_s + I_L - 2\sqrt{I_s I_L} \sin(\Delta\omega t + \Delta\phi_1)$$

[0045]

[0046] 전술한 수학적 근거에 의해, 차동 증폭기(464)의 출력신호($I_1 - I_2$)는 수학식 4와 같이 나타나게 된다. 따라서, 본 발명의 제1 실시예에 따른 차동 증폭기는 Balanced Detection한 것과 동일한 결과로서 DC 신호 및 노이즈 신호가 모두 제거된 2배의 간섭신호를 얻게 된다.

수학식 4

$$I_1 - I_2 = 4\sqrt{I_s I_L} \sin(\Delta\omega t + \Delta\phi_1)$$

[0047]

[0048] AOM 구동부로부터 제공된 구동 주파수(f_{RF})는 체배기(Frequency Doubler; 474)를 통해 2배의 주파수($2f_{RF}$)로 변환되어 복조기(470)로 제공된다. 복조기(470)는 상기 2배의 주파수($2f_{RF}$)를 이용하여 상기 광검출소자로부터 제공되는 간섭 신호를 복조하여 신호빔에 대한 위상 및 진폭변화를 검출한다. 간섭신호를 복조하는 방법은 여러가지가 있으며, 그 중 한 방법은 I/Q(In-phase/Quadrature-phase) 복조방법으로, 복조기로부터 출력되는 간섭신호의 I 신호 및 Q 신호를 이용하여 위상 및 진폭변화를 검출할 수 있다. 도 5는 본 발명의 제1 실시예에 따른 복조기(470)의 입력 및 출력 신호를 도시한 블록도이다. 도 5에 도시된 바와 같이, 복조기(470)는 간섭 신호 및 변조 주파수 정보를 입력받아 복조하여, I 값 및 Q 값으로 출력한다. 여기서, 상기 I 값 및 Q 값은 수학식 5 및 6와 같다.

수학식 5

$$I \text{ value} \sim R \sin \Delta \varphi$$

수학식 6

$$Q \text{ value} \sim R \cos \Delta \varphi$$

[0051] 전술한 I 값 및 Q 값을 이용하여 수학식 7 및 8에 따라 진폭 및 위상을 동시에 독립적으로 검출할 수 있어 진폭 변화(혹은 위상변화)에 상관없이 위상변화(혹은 진폭변화)를 측정할 수 있다.

수학식 7

$$\text{amplitude} = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

수학식 8

$$\text{Phase} = \tan^{-1} \left(\frac{Q}{I} \right)$$

[0054] 복조기로부터 I 값 및 Q 값이 출력되는 경우, 제어부(480)로 제공되어, 위상과 진폭을 검출하게 된다. 상기 제어부(480)는 복조기로부터 제공되는 아날로그 신호들을 디지털 신호로 변환하는 A/D 컨버터(482) 및 컴퓨터(484)로 구성될 수 있으며, 상기 컴퓨터(484)는 A/D 컨버터로부터 제공되는 디지털 신호의 I값 및 Q값을 저장하고 이들로부터 위상과 진폭을 검출하며, 거울 구동부에 대한 구동 신호를 생성하여 출력함으로써 거울 구동부의 구동을 제어한다.

[0055] 전술한 구성을 갖는 헤테로다인 간섭계는 간단한 구조를 가지는 광학계를 이용하여 노이즈와 DC 성분을 모두 제거할 수 있는 Balanced Detection을 구현할 수 있게 된다.

제2 실시예

[0057] 이하, 본 발명의 제2 실시예에 따른 AOM을 이용한 헤테로다인 간섭계의 구조 및 동작을 구체적으로 설명한다. 제2 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계는 제1 실시예의 헤테로다인의 구조와 거의 유사하나, AOM으로부터 출력된 빛살들 중 단일 경로로 진행하는 빛살들만을 이용한다는 점에서 제1 실시예의 헤테로다인 간섭계와 차이가 있다. 이러한 차이점으로 인하여 제2 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계는 Balanced Detection을 구현하지 못하

나, 구조가 좀 더 간단하다는 특징을 갖는다.

[0058] 도 7은 본 발명의 제2 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계를 도시한 구조도이다. 도 7을 참조하면, 본 발명의 제2 실시예에 따른 헤테로다인 간섭계(70)는 광원(700), PBS(710), AOM(720), AOM 구동부(730), QWP(740), 제1 거울(750), 제2 거울(754), 거울 구동장치(758), 광검출기(760), 복조기(770) 및 제어부(780)를 구비한다.

[0059] 상기 광원(700), PBS(710), AOM 구동부(730), QWP(740), 제1 거울(750), 제2 거울(754), 거울 구동장치(758), 복조기(770) 및 제어부(780)는 제1 실시예의 그것들과 동일하므로, 중복되는 설명은 생략한다.

[0060] 본 실시예에 따른 간섭계(70)는 제1 거울 및 제2 거울에서 반사된 탐사빔과 기준빔이 AOM(720)을 다시 통과하여 PBS(710)로 진행되는 빔들 중 동일 경로로 진행되는 빔들만을 검출하는 것을 특징으로 한다. 따라서, 광검출 소자(760)는 상기 PBS로부터 주파수 f_0 의 탐사빔과 주파수 f_0+2f_{RF} 의 기준빔이 입사되고, 이들에 대한 $2(f_{RF})$ 의 주파수를 갖는 간섭 신호를 검출하고 이를 전기 신호로 변환하여 복조기(770)로 출력한다.

[0061] AOM 구동부로부터 제공된 구동 주파수(f_{RF})는 체배기(Frequency Doubler;772)를 통해 2배의 주파수($2f_{RF}$)로 변환되어 복조기(470)로 제공된다. 복조기(770)는 상기 2배의 주파수($2f_{RF}$)를 이용하여 상기 광검출소자로부터 제공되는 간섭 신호를 복조하여 신호빔에 대한 위상과 진폭변화를 검출한다.

[0062] 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.

산업상 이용가능성

[0063] 본 발명에 따른 헤테로다인 간섭계는 정밀변위, 진동 및 속도측정, 시료의 표면을 스캐닝하거나 특성을 파악하는 현미경 장비로 널리 사용될 수 있다.

부호의 설명

[0064] 40, 70 : 헤테로다인 간섭계

400, 700 : 광원

410, 710 : PBS

420, 720 : AOM

430, 730 : AOM 구동부

440, 740 : QWP

450, 750 : 제1 거울

454, 754 : 제2 거울

458 : 거울 구동장치

460 : 제1 광검출기

462 : 제2 광검출기

466 : 차동증폭기

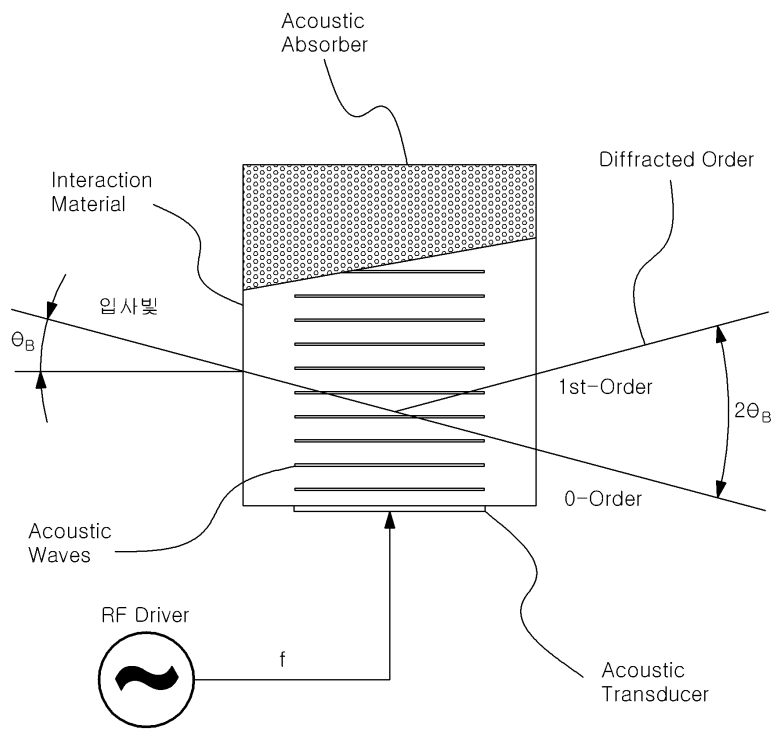
470, 770 : 복조기

480, 780 : 제어부

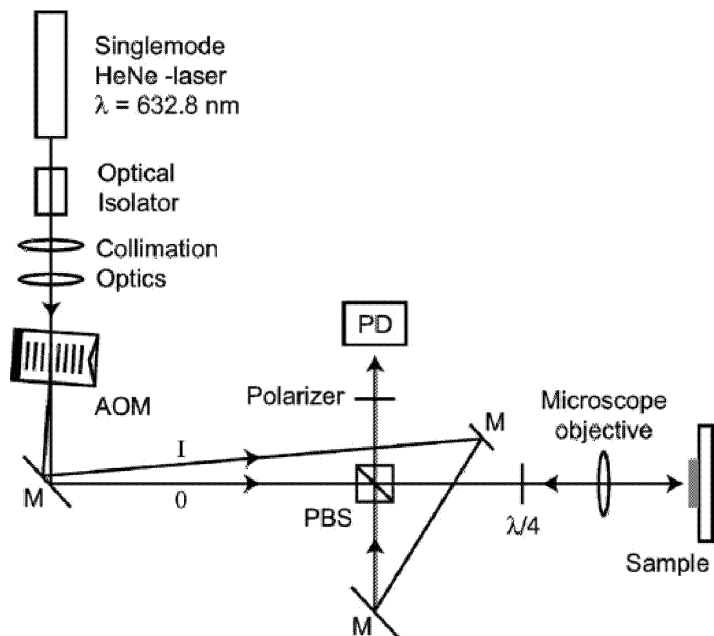
760 : 광검출기

도면

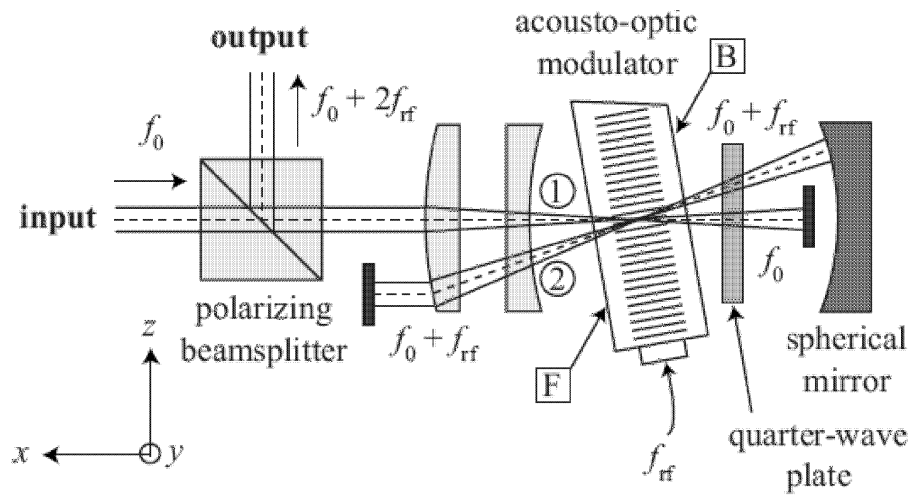
도면1



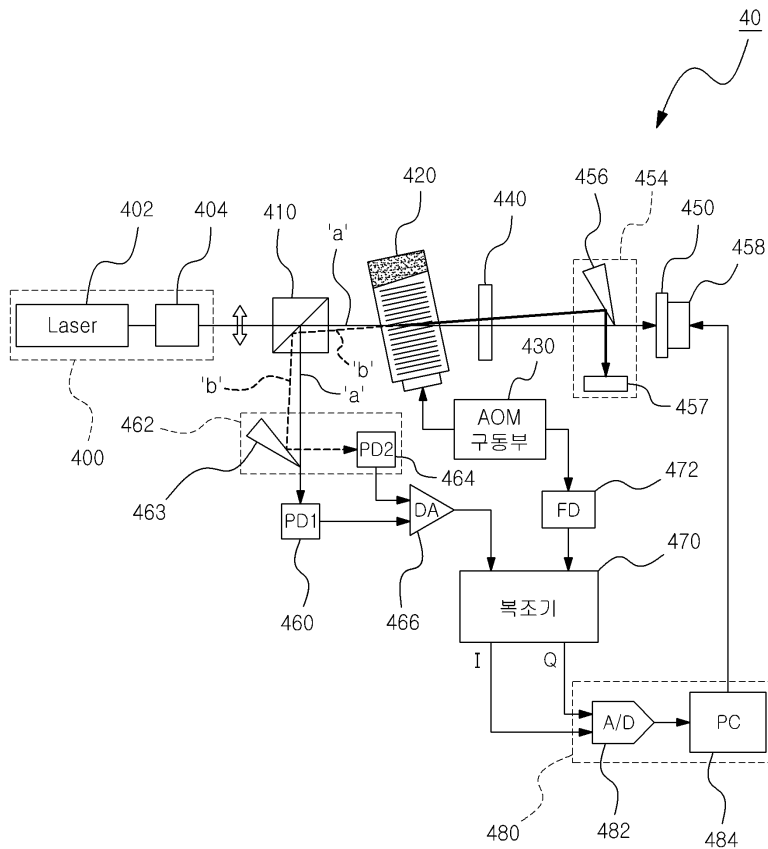
도면2



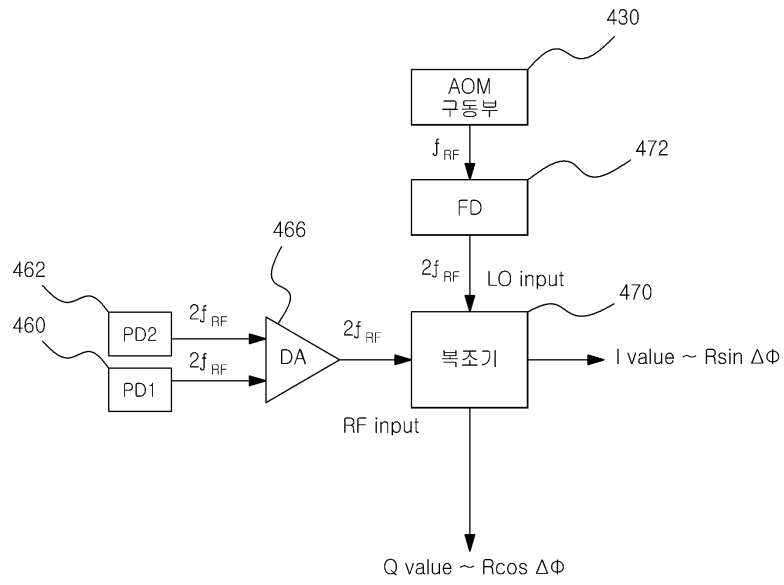
도면3



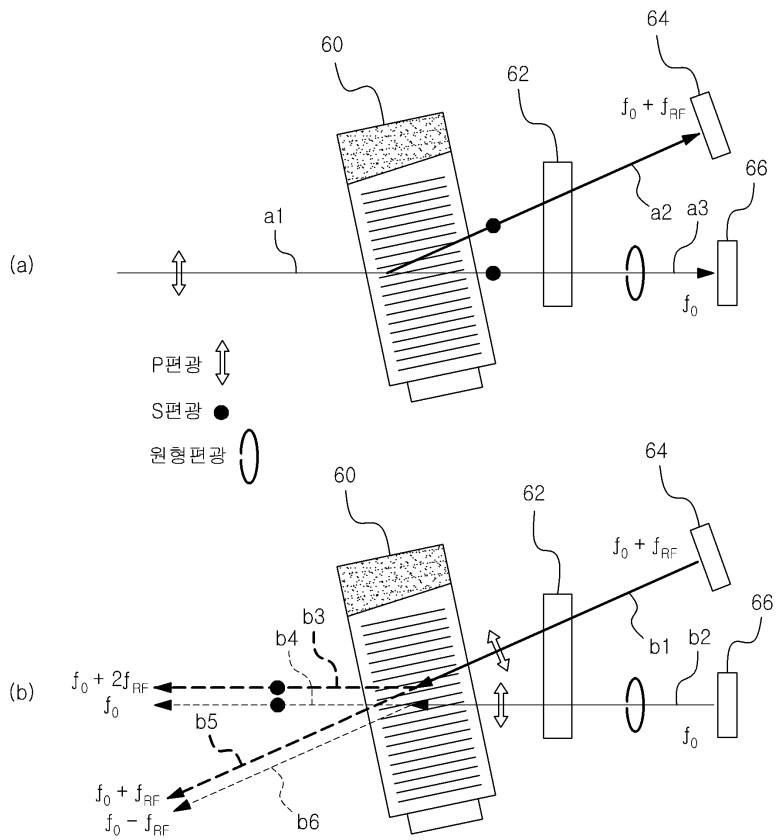
도면4



도면5



도면6



도면7

