



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년02월09일
(11) 등록번호 10-1828100
(24) 등록일자 2018년02월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 9/02 (2006.01) G01J 3/453 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7028765
(22) 출원일자(국제) 2012년04월26일
심사청구일자 2017년02월24일
(85) 번역문제출일자 2012년11월01일
(65) 공개번호 10-2014-0022715
(43) 공개일자 2014년02월25일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2012/057631
(87) 국제공개번호 WO 2012/150172
국제공개일자 2012년11월08일
(30) 우선권주장
PCT/EP2011/056934 2011년05월02일
유럽특허청(EPO)(EP)
(56) 선행기술조사문헌
JP07286902 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
포스 애널리티컬 에이/에스
덴마크, 디케이-3400 힐러뢰드, 포스 알르1
(72) 발명자
폴켄베르크, 야콥
덴마크, 디케이-3400 힐레로에드, 베드 스코브게르데트
라르센, 한스
덴마크, 디케이-2970 호에르솔름, 헥케베즈 29
(74) 대리인
허용록

전체 청구항 수 : 총 8 항

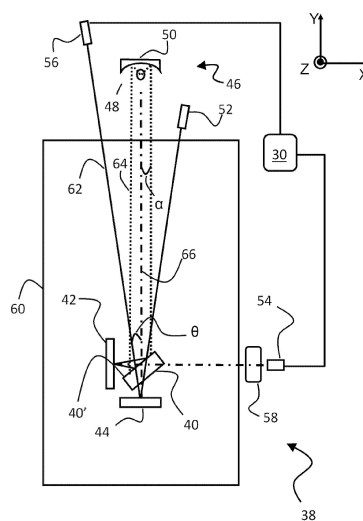
심사관 : 김민석

(54) 발명의 명칭 분광측정장치

(57) 요약

입사광선을 반사빔 경로를 따르는 반사빔 및 투과빔 경로를 따르는 투과빔으로 분할시키는 빔스플리터(40)를 구비한 주사 간섭계(40,42,44); 기준빔을 간섭계(40,42,44)에 발사시키되, 제1 전파경로(62)를 따라 빔스플리터(40)의 제1면(40')에 초기 입사되도록 발사시키는 단파장 광방사원(52); 관측빔(64)을 간섭계(4,6,8)에 발사시키되, 제2 전파경로(66)를 따라 빔스플리터(40)의 제1면(40')에 초기 입사되어 제1면(40')에서 기준빔에 중첩되도록 발사시키는 관측 광방사원(46)을 포함하며, 상기 방사원들(52;46)은 공조하여, 두 빔이 제1면(40')에 초기에 동시 입사할 때 각각의 제1 전파경로(62)와 제2 전파경로(66)와 평행한 상기 두 빔의 전파방향 사이에 관측빔(64)의 반(半)-발산각(α)보다 큰 제1 각도(θ)를 생성하는 것을 특징으로 하는 분광측정장치(38).

대표도 - 도4



(56) 선행기술조사문헌
JP11142243 A
JP05231939 A
KR1020090025971 A
KR1020110024608 A

명세서

청구범위

청구항 1

입사광선을 반사빔 및 투과빔으로 분할시키는 빔스플리터(4;40)를 구비한 주사 간섭계(4,6,8;40,42,44);

기준빔을 간섭계(4,6,8;40,42,44)에 발사시키되, 제1 전파경로(14;62)를 따라 빔스플리터(4;40)의 제1면(4' ;40')에 초기 입사되도록 발사시키는 단파장 광방사원(12;52);

관측빔(18;64)을 간섭계(4,6,8;40,42,44)에 발사시키되, 제2 전파경로(20;66)을 따라 빔스플리터(4;40)의 제1면(4' ;40')에 초기 입사되어 제1면(4' ;40')에서 기준빔에 중첩되도록 발사시키는 관측 광방사원(16;46)을 포함하며,

상기 방사원들(12;16;52;46)은 공조하여, 제1면(4' ;40')에 각각의 제1 전파경로(14;62)와 제2 전파경로(20;66) 사이에 관측빔(18;64)의 반(半)-발산각(α)보다 큰 제1 각도(θ)를 생성하는 것을 특징으로 하는 분광 측정장치(2;38).

청구항 2

제1항에 있어서,

발사된 기준빔으로부터 생성되는 기준 간섭무늬를 검출하는 기준 검출기(26;56), 및 발사된 관측빔(18;64)로부터의 관측 간섭무늬를 검출하는 관측 검출기(28;54)를 더 포함하며, 각각의 검출기(26;28;56;54)는 다른 빔의 빔 경로(36;34;62;64) 외부측에 위치하는 것을 특징으로 하는 분광측정장치(2;38).

청구항 3

제2항에 있어서,

각각의 검출기(26;28;56;54)에 작동가능하게 연결되어 검출된 간섭무늬에 대응되는 출력을 수신하는 데이터 프로세서(30)를 더 포함하며, 상기 데이터 프로세서(30)는 수신된 출력을 처리하여, 기준빔을 제1 각도(θ)로 발사한 것으로 인해, 관측 간섭무늬로부터 추출된 분광정보 내에 발생하며 관측 검출기(28;54)에 의해 검출되는 에러를 교정하도록 특별히 구성되는 것을 특징으로 하는 분광측정장치(2;38).

청구항 4

제3항에 있어서,

기준빔은 빔 직경을 가지며, 단파장 방사원(12;52)은 기준빔이 빔스플리터(4;40)의 제1면(4' ;40')에서 임의 정도의 중첩이 이루어지도록 상기 기준빔을 빔 직경과 상관관계에 있는 제1 각도(θ)로 발사하되, 상기 각도는 거울(6)이 수평이동을 함에 따라 기준 검출기(26)로부터의 출력 중 최저 신호 대 잡음비를 제공하고, 기준 간섭무늬로부터 주기적으로 반복되는 피처를 데이터 프로세서(30) 내에서 결정가능하기에 충분하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 분광측정장치(2;38).

청구항 5

단파장 방사원(12;52)으로부터의 기준빔과 관측 광방사원(16;46)으로부터의 발산 관측빔(18;64)을 동시에 각각의 전파경로(14;20;62;66)를 따라 간섭계(4,6,8;40,42,44)의 빔스플리터(4;40)의 제1면(4' ;40')을 향하여 발사시키되, 관측빔(18;64)의 반-발산각(α)보다 큰 제1 각도(θ)를 관측빔의 전파경로(20;66)와 이루는 제1면(4' ;40')에 입사되도록 전파경로(14;62)를 따라 상기 기준빔을 발사시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 제1항에 기재된 분광측정장치(2;38)의 작동 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

데이터 프로세서(30)에서, 관측빔(18;64)로부터 얻은 간섭무늬를 처리하여, 상기 간섭무늬로부터 추출가능한 분광정보 중에, 기준빔을 제1 각도(θ)로 발사한 것으로 인해 발생한 에러를 수정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 수정 단계는 실제 파장으로부터 $\cos(\theta)$ 배만큼 차이나는 겉보기 파장을 가진 기준빔을 보상하는 조작을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제5항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

관측빔(18;64)을 샘플 물질에 통과시키는 단계; 및 데이터 프로세서(30)로 하여금 관측빔(18;64)으로부터 얻은 간섭무늬를 처리하여 상기 샘플 물질의 분광정보 특성을 추출하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 주사 간섭계를 포함하는 분광측정장치, 보다 구체적으로는 마이켈슨(Michelson) 원리 또는 그로부터 유도되는 원리에 따라 작동하는 주사 간섭계(일반적으로, 본 명세서에서는 “마이켈슨 유형” 간섭계로 지칭됨)에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 공지되어 있는 마이켈슨 유형의 것과 같은 주사 간섭계는 일반적으로 빔스플리터(통상 보상기 역시 포함함) 및 2개 이상의 반사체를 포함하며, 상기 반사체의 예로는 거울 또는 역반사체(retro-reflector)가 있고, 반사체들 중 적어도 하나는 왕복 수평이동할 수 있도록 배치된다. 이러한 간섭계에는 콜리메이팅 렌즈나 기타 다른 광학 기구도 결합될 수 있지만, 빔스플리터 및 상대적으로 이동가능한 반사체들의 존재에 본질적으로 의존하는 간섭계의 작동원리를 감안할 때 필수적인 요소들이 아니다.

[0003] 주사 간섭계는 일종의 광학 장치를 가리키는 것으로, 이러한 광학 장치에서 빔은 먼저 빔스플리터에 의해 2개의 구성요소로 분할되며, 각각의 구성요소는 상대적으로 이동가능한 한 쌍의 반사체 각각에 의해 한정된 서로 다른 경로를 횡단한 후 재결합되어 서로를 간섭한다. 그런 후에는, 상기 간섭의 스펙트럼 콘텐츠(분광 성분)로부터, 빔이 서로 작용한 샘플의 특성과 관련되는 정보를 추출할 수 있다.

[0004] 이러한 간섭계를 가령 광학 분광기용 분광측정장치에 이용하는 경우, 목표 파장 영역에서 비교적 광대역 방사선으로 구성된 관측빔은 간섭계에 발사(launch)되어 빔스플리터와 충돌하게 된다. 본원과 관련하여 “발사”란 용어는 빔이 이전의 광학 부재, 이를테면 빔의 경로 또는 모양에 영향을 미칠 수 있는 광원, 광섬유 단부, 렌즈 또는 기타 광학 부재로부터 투과되었다는 것을 가리킨다. 이러한 관측관측빔은 빔스플리터에서 본질적으로 동일한 세기를 가진 2개의 부분으로 분할된다. 제1 빔은 빔스플리터에 의해 반사되어, 간섭계의 제1 ‘돌출부(arm)’를 따라 제1 반사체까지 이동한 후, 제1 반사체로부터 빔스플리터로 역반사된다. 제2 빔은 빔스플리터를 투과하여, 제2 돌출부를 따라 제2 반사체까지 이동한 후, 역시 제2 반사체로부터 빔스플리터로 역반사되어 상기 반사된 제1 빔에 중첩된다. 위상지연값(retardation) δ 은 두 돌출부의 광로차이며; 위상지연값에 따라 분광광원의 각 파장은, 두 돌출부에서의 역반사광이 빔스플리터 상에서 중첩될 때, 상쇄 또는 보강 간섭될 수 있다. 위상지연값에 따른 중첩-간섭광의 세기 패턴은 간섭무늬(interferogram)로 알려져 있다. 간섭무늬는 하나 이상의 반사체가 이동하여 해당 관련 광로를 주기적으로 왕복하면서 제1 빔과 제2 빔 사이에 주기적인 광로차를 생성하는 경우에 검출기에 의해 기록된다. 그 결과, 관측빔의 각 파장은 서로 다른 주파수로 변조된다. 그런 후에는 수적으로 푸리에 변환(FT)을 수행함으로써 상기 관측 간섭무늬로부터 분광정보를 추출할 수 있다.

[0005] 특히, 소위 고속 FT 기법을 이용하여 관측 간섭무늬를 기록하는 경우, 수평이동형 반사체의 정확한 등거리 위치들에서 해당 관련 검출기의 출력을 샘플링하는 작업은 에러를 막기 위해 매우 중요하다.

[0006] FT 분광학에서는 레이저와 같이 파장 λ 이 알려져 있는 단파장 광방사원을 사용하여 기준빔을 생성하는 것이 폐

정립된 관행이다. 이러한 기준빔을 주사 간섭계에 활용하여 요구되는 정확한 등거리 위치들을 구하는 것으로, 미국특허 제6,654,125호에는 이러한 FT 간섭계의 한 예가 개시되어 있다. 상기 간섭계에서는, 흔히 그렇듯이, 기준빔이 관측용 빔과 동시에 주사 간섭계에 발사되며, 기준빔은 간섭계의 광학 구성요소들을 통과하여 관측빔이 따라 이동하는 광로와 실질적으로 평행인 광로를 따르도록 되어 있다. 관측빔의 경우와 마찬가지로, 기준빔은 빔스플리터에 의해 실질적으로 동일한 세기를 갖는 2개의 빔으로 분할된다. 기준 간섭무늬는, 기준빔의 두 역반사된 부분이 빔스플리터에서 중첩되면 해당 관련 검출기가 이를 검출함으로써 생성된다. 이러한 기준 간섭무늬는 $\delta_{\text{per}} = \lambda/2$ (1)로 파장에 직접적으로 관련된 위상지연축 δ_{per} 상에 진동 주기를 갖는 사인곡선(정현곡선)이다.

[0007] 기준빔의 파장이 정확하게 알려져 있기 때문에, 주기적으로 발생하는 특징들, 이를테면 기준 간섭무늬의 제로-크로싱 위치들을 활용함으로써, 간섭계 내 수평이동형 반사체의 증분 변위값 및/또는 속도를 정확하게 구할 수 있다. 따라서, 관측 간섭무늬에 대한 샘플링 시간을 정확하게 구할 수 있다.

[0008] 공지되어 있는 주사 간섭계 디자인과 관련된 문제점 하나는 기준빔이 간섭계로 발사될 때 추가적인 광학 구성요소들이 요구되거나, 관측빔의 경로가 가로막힌다는 것이다. 기준빔은 예를 들어 잠망경 거울을 이용하여 발사시키거나, 관측빔을 위한 임의의 콜리메이팅 광학도구 내의 개구를 통해 발사시킬 수 있다. 그러나 이들 두 경우, 기준빔의 일부분이 차단된다. 대안으로, 색선택 거울(dichroic mirror)을 이용하여 기준빔을 간섭계에 발사시킬 수 있지만, 이 방법 역시 간섭계를 통과한 관측빔의 전체 세기를 감소시키며, 관측빔의 경로에는 공간이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 분광측정장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 제1 양상에 따라, 입사광선을 반사빔 및 투과빔으로 분할시키는 빔스플리터를 구비한 주사 간섭계; 기준빔을 간섭계에 발사시키되 빔스플리터의 제1면에 초기 입사되도록 발사시키는 단파장 광방사원; 관측빔을 간섭계에 발사시키되 빔스플리터의 제1면에 초기 입사되어 제1면에서 기준빔에 중첩되도록 발사시키는 관측 광방사원을 포함하는 분광측정장치를 제공하며, 이때 방사원들은 공조하여, 두 빔의 전파경로 사이에, 관측빔의 동일 평면상의 반(半)-발산각보다 큰 제1각을 생성한다.

[0011] 모든 방사선빔은 거리에 따라 빔이 넓어지는 정도를 표현하는 발산각을 가지고 있다는 것이 잘 알려져 있다. 예를 들면, 광 세기가 통상 기준 세기로 명시된 퍼센트와 동일한 축과 동일한 평면에서, 빔 경로에 평행인 광빔의 축의 반대측에서 두 방향 사이의 각으로 여기면 된다. 만일 빔을 렌즈나 다른 집속 부재를 사용하여 집광하였다면, 두 가지 변수, 즉 렌즈 앞의 빔에서 가장 좁은 점의 직경 D와 렌즈의 촛점거리 f를 이용하여 공지된 방식으로 예상 발산각을 산출할 수 있다. 반-발산각은 이름에 함축되어 있듯이 그 크기가 발산각의 절반에 해당되는 각도이다.

[0012] 따라서, 기준빔과 관측빔을 간섭계에 도입하되 이들 빔이 초기 입사되는 빔스플리터 제1면에서의 전파방향들 사이의 각을 관측빔의 동일 평면상의 반-발산각보다 크게 만듦으로써, 관측빔의 외부측으로부터 기준빔을 발사하여, 어떠한 추가적 광학 구성요소 없이; 관측빔을 가로막지 않으면서; 빔스플리터 및 기타 다른 광학 구성요소들의 크기를 증가시킬 필요 없이, 빔스플리터의 제1면에서 관측빔과 중첩시키는 것이 가능하다.

[0013] 또한, 본 발명에 따른 빔 경로의 각도 생성(angling) 조작은 기준빔과 관측빔의 공간적 여과효과를 제공하므로, 다른 빔으로 인한 해당 관련 검출기에서의 백그라운드 방사선이 현저하게 감소되거나 심지어는 제거되도록 장치를 설계할 수 있다.

[0014] 유용하게는, 해당 관련 검출기에 의해 기록된 관측 간섭무늬로부터 분광정보를 추출하기 위해 컴퓨터를 이용하며, 이때 컴퓨터는 본 발명에 따른 기준빔 및 관측빔의 각도 생성 조작으로 인해 분광정보에 도입되는 파장 에러를 수학적으로 보상하도록 특별히 구성된다. 컴퓨터에 적용되는 파장 스케일의 이러한 보정 작업은 간섭계를 사용하여 얻은 측정치들의 정확성을 높인다.

[0015] 본 발명의 제2 양상에 따라, 본 발명의 제1 양상에 따른 주사 간섭계를 구비한 분광측정장치의 작동 방법을 제

공하며, 상기 방법은 동시에 기준빔과 발산 관측빔을 빔스플리터측의 제1면에 초기 입사되도록 발사시키되, 상기 빔들의 광로 사이에 관측빔의 반-발산각보다 큰 제1 각도로 빔스플리터에 상기 빔을 발사시키는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0016] 이하 본 발명의 일 구현예를 단지 예시적 목적으로, 첨부된 도면들을 참조하여 설명하기로 한다.

도 1은 본 발명에 따른 마이켈슨 유형 간섭계의 X/Y 평면에서의 단면도를 예시한다.

도 2는 도 1의 마이켈슨 유형 간섭계의 Y/Z 평면에서의 단면도를 예시한다.

도 3은 도 1과 도 2에 예시된 간섭계 상의 설계 기준 제약사항들을 그래프로 나타낸다.

도 4는 본 발명에 따른 마이켈슨 유형 간섭계의 또 다른 구현예의 단면도를 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이제, 도 1과 도 2에 예시된 바와 같이, 마이켈슨 유형의 주사 간섭계를 포함하여 현재 구성된 본 발명에 따른 분광측정장치(2)의 예시적인 구현예를 살펴보기로 한다. 이러한 주사 간섭계의 일반적 작동원리는 잘 알려져 있으므로, 여기서는 본 발명을 이해하는데 필요한 세부사항들만 설명하기로 한다. 예시된 주사 간섭계는 빔스플리터(여기서는 원형 빔스플리터(4)), 및 원형 평면거울(6,8) 형태의 두 반사체를 포함한다. 상기 거울들 중 한 거울(6)은 2L로 표시한 거리를 수평 왕복이동(양방향 화살로 도시됨)하도록 장착되고, 다른 거울(8)은 고정된다. 본 구현예에서, 빔스플리터(4)는 두 반사체(6,8)와 함께 간섭계 하우징(10) 안에 밀봉된다. 또한, 예시된 장치(2)는 기준빔을 생성하여, 상기 기준빔을 추가적 광학 부재에 의해 방해받지 않고 간섭계(4,6,8)의 빔스플리터(4)의 제1면(4')을 향해, 전파경로(14)에 대체로 평행하게 발사시키는 단파장 광방사원(12); 및 발산 관측빔(18)을 생성하여, 상기 관측빔을 간섭계(4,6,8)의 빔스플리터(4)의 제1면(4')을 향해 발사시키되, 관측빔(18)의 전파방향(즉, 전파경로)에 영향을 미칠 수 있는 추가의 광학 부재들을 통과시키지 않고, 단파장 광방사원(12)와 빔스플리터(4) 사이의 전파경로(20)에 대체로 평행하게 발사시키는 관측 광방사원(16)을 포함한다. 본 발명에 따른 장치의 다른 구현예에서 방사원들(12,16)과 빔스플리터(4) 사이에 광학 부재들 또는 기타 구성요소들이 개재되어 어느 전파경로(20,14)든 변경한다면, 본 발명에 따른 전파경로는 이들 광학 부재 중 마지막 광학 부재와 빔스플리터(4) 사이가 적합한 빔의 전파방향이 된다는 것을 이해할 것이다. “발사”란 용어는 이에 따라 해석하면 된다.

[0018] 알려진 바와 같이, 빔스플리터(4)는 주사 간섭계(4,6,8)의 제1 부재로 간주되며, 입사빔을 투과빔 경로(22) 및 반사빔 경로(24)를 횡단하는 실질적으로 동일한 세기의 빔들로 분할시키도록 구성된다. 이동 거울(6)은 수평 왕복이동할 때, 투과빔 경로(22)를 횡단하는 빔을 빔스플리터(4)에 다시 반사(return)되도록 빔스플리터(4)에 상대적으로 배치된다. 다른 고정 거울(8)은 반사빔 경로(24)를 횡단하는 빔을 빔스플리터(4)에 역반사함으로써 투과빔 경로(22)를 따라 반사된 빔과 중첩되도록 빔스플리터(4)에 상대적으로 배치되며, 이로써 기준빔 방사원(12)으로부터의 기준빔과 관측 광방사원(16)으로부터의 관측빔(18) 각각에 대한 간섭무늬가 생성된다.

[0019] 또한, 해당 기준빔 및 관측빔 방사 검출기들(26,28)이 각각 분광측정장치(2)의 일부로서 제공된다. 기준빔 방사 검출기(26)는 간섭계 하우징(10) 안에 배치되어, 기준빔 경로(36)를 횡단하는 발사된 기준빔의 반사 구성성분들로부터 생성되는 기준 간섭무늬를 검출한다. 마찬가지로 관측빔 방사 검출기(28)는 간섭계 하우징(10) 안에 배치되어, 관측빔 경로(34)를 횡단하는 발사된 관측빔의 반사 구성성분들로부터 생성되는 관측 간섭무늬를 검출한다. 유용하게, 그리고 본 발명의 일 구현예에 따르면, 기준빔 방사 검출기(26)는 빔스플리터(4)로부터 관측빔 검출기(28)를 향해 빔 경로(34)를 횡단하는 관측빔의 외부측에 위치되어도 된다. 이는 관측빔 검출기(28)에 입사하는 이용가능한 방사선의 극대화, 및 각각의 검출기(28,26)에서 관측빔 경로(34)와 기준빔 경로(36)의 공간적 여과가 가능하도록 한다. 이러한 공간적 여과 효과는, 다른 빔(즉, 기준빔 검출기(26)에 입사되는 관측빔)으로부터의 광, 그리고 반대의 경우도 마찬가지임으로 인해 야기되는 각각의 검출기(28,26) 내 백그라운드 잡음이 실질적으로 감소되고, 심지어는 제거될 수 있다는 점에서 유리하다.

[0020] 본 구현예에서 이들 기준빔 및 관측빔 검출기(26,28)은 모두 간섭계 하우징(10) 안에 위치하지만, 이들 중 하나 이상을 하우징(10)의 외부측에 위치시키고, 예를 들어 적합한 광섬유에 의해 하우징(10)에 광학적으로 결합하여도 된다는 것을 이해할 것이다. 마찬가지로, 단파장 광방사원(12) 및 관측 광방사원(16) 중 하나 또는 둘 다 하우징(10)의 외부측에 위치하되, 도 1과 도 2에 예시한 바와 같은, 그리고 본원에 기술된 바와 같은 빔 경로들을

따르도록 상기 하우징에 광학적으로 결합된다.

- [0021] 적절하게 프로그램된 컴퓨터(30)와 같은 데이터 프로세서를 기준빔 및 관측빔 방사 검출기(26,28) 각각에 작동 가능하게 연결하여, 각각의 검출된 기준 간섭무늬 및 관측 간섭무늬를 대표하는 신호들을 수신하고 이러한 신호들을 처리함으로써 관측 간섭무늬로부터 분광정보를 얻게 되며, 이러한 분광정보는 일반적으로 관측 간섭무늬를 푸리에 분석하여 얻는다. 본 구현예에서는 컴퓨터(30)가 유일한 장치로서 예시되었지만, 본 발명과 관련하여 컴퓨터는 통상의 프로그래밍 및 전기 엔지니어링 기법을 이용하여 원하는 계산과정을 자동적으로 수행하도록 구성된 하나 이상의 장치를 의미하는 것으로 이해하면 된다. 데이터 프로세서(30)를 구성하는 이러한 하나 이상의 장치 중 임의의 하나 또는 그 이상을 하우징(10)과 통합시키거나, (고정 연결부를 통해 예시한 바와 같이) 근거리 통신 또는 (이를테면, 통신 링크, 인터넷 또는 인터넷 연결부를 통한) 원거리 통신 범위 내에서 하우징(10) 외부에 제공할 수 있다.
- [0022] 분광측정장치(2)를 광학분석에 사용하는 경우에는, 투명 또는 반투명한 큐벳 또는 다른 샘플 홀더(32)를 관측빔 경로(20)에 배치할 수 있으며, 여기서는 방사원(16) 및 빔스플리터(4)의 제1면(4') 사이의 빔 경로(20) 방향을 변경하지 않도록 구성하였다. 단지 예로서 본 구현예에서는 샘플 홀더(32)가 빔스플리터(4)의 앞에(경로(20)를 따르는 관측빔(18)의 전파방향) 위치하지만, 빔스플리터(4)의 뒤에 위치하거나, 또는 관측 광방사원(16)이 이미 하우징(10)의 외부측에 위치하고 있다면 심지어 하우징(10)의 외부측에 있는 빔스플리터(4) 앞에 위치하여도 된다. 관측빔(18)의 특정 파장들은 다른 샘플 물질보다는 홀더(32) 내의 샘플 물질과 상호작용하게 된다. 그 결과, 샘플 홀더(32) 내 물질의 특징인 관측빔(18)의 세기는 파장에 따라 변화하게 된다. 이러한 분광정보는 컴퓨터(30)에서 예컨대 푸리에 변환을 통해 관측 간섭무늬의 디콘볼루션(deconvolution) 과정으로부터 추출될 수 있다.
- [0023] 본 구성의 이점은, 이동 거울(6)이 수평 왕복하므로 빔스플리터(4)에 걸쳐 기준빔의 투과된 부분(22)의 변위(위크오프, 제거)가 단파장 광방사원(12) 및 관측 광방사원(16)의 다른 상대적 배향들에 비해 최소화된다는 것이다. 그러나, Y축(여기서는, 전파경로(20)와 대등함)에 대한 방사원(12,16)의 상대적 배향을 청구된 바와 같은 본 발명의 벗어나지 않는 범주 내에서 이용가능하다는 것을 이해할 것이다.
- [0024] 간섭계(4,6,8)의 모든 설계 변수를 독립적으로 선택할 수 있는 것은 아니며, 도 1과 도 2의 간섭계(2)는 후술되는 설계 기준을 고려하여 설계할 수 있다:
- [0025] 본 구현예에서는 빔 발산이 (이를테면, 빔 중심 또는 빔 세기 분포 최대값의 전파방향에 의해 정의된 바와 같은) 빔 전파의 일반적 방향(20)에 대해 대칭을 이루도록 구성 및 배향된 방사원(16)으로부터 간섭계(4,6,8)에 방사되어 빔스플리터(4)의 제1면(4')에 초기 입사되는 관측빔(18)을 살펴보기로 한다. 이러한 관측빔(18)은 일반적 빔 전파방향(20)을 기준으로 반-발산각 α 를 이룬다. 이와 동시에, 기준빔은 기준빔 경로(14)를 따라 간섭계(4,6,8)에 방사되어, 상기 반-발산각 α 를 포함한 평면(여기서는, Z-X 평면으로 예시됨)에서 관측빔(18)의 전파경로(20)에 대해 θ 의 각도(본 발명에 따르면, $\theta > \alpha$)로 빔스플리터의 제1면(4')에 초기 입사된다. 이동 거울(6)의 변위는 $-L$ 내지 $+L$ 로 다양하다. 따라서, 상기 거울(6)의 전체 변위는 $L_{tot}=2L$ 이고, 위상지연값은 $-2L$ 내지 $2L$ 로 다양하다. 최대 위상지연값 $\delta_{max}=2L$ 이다.
- [0026] 간섭계(4,6,8)의 위상지연값이 영(zero)이면, 반사된 기준빔 구성성분들은 빔스플리터(4) 상에서 최대로 중첩하게 된다. 그러나, θ 이 0도가 아니기 때문에, 위상지연값의 절대값이 영보다 크게 증가하면 반사된 기준빔 구성성분들은 빔스플리터(4) 상에서 서로로부터 멀어지게 된다. 이는 소위 위크오프 효과라는 것이다. 위상지연값의 절대값이 최대(δ_{max})일 때, 반사된 기준빔 구성성분들의 중심 사이의 거리는 $2L \sin(\theta) = \delta_{max} \sin(\theta)$ (2).
- [0027] 기준 간섭무늬의 진폭은 반사된 기준빔의 두 구성성분들의 전기장 세기의 분포를 중복적분함으로써 구해지는데, 이는 $d_{ref} \gg \delta_{max} \sin(\theta)$ (식에서 d_{ref} 는 빔스플리터(4) 상에 반사된 기준빔(즉, 거울(6) 및 빔스플리터(4) 사이의 전파경로(22)의 일부를 횡단하는 기준빔)의 반치폭(FWHM)임)인 경우에만 진폭이 일정하다는 것을 의미한다. 반사빔의 두 구성성분들이 빔스플리터(4) 상에서 서로 멀어지면 위크오프 효과로 인해 전기장 세기의 오버랩 크기가 감소하게 된다. 바람직하게, 단파장 광방사원(12)은, 단일 공간 모드를 가지며 빔스플리터(4)의 제1면(4') 상에 빔의 최소직경(beam waist)이 위치하는 기준빔을 생성하는 레이저원이다. 이러한 방식으로 기준빔의 상전면(phase front)이 실질적으로 평행하게 되며, 이는 공간적 간접성을 극대화시키고 더 나아가 허용 가능한 위크오프가 최대화된다.
- [0028] 예를 들어 단일 모드 또는 회절 한계 빔과 같은 공간적 간접성이 높은 기준빔이 생성되면, 빔 위크오프는 주로

기준빔의 진폭에 영향을 미치게 된다. 실제로, 기준빔 상에는 특정 진폭 포락선(envelope)이 허용가능하며, 반사된 기준빔 크기 d_{ref} 상의 요구조건이 $d_{ref} > \varepsilon \delta_{max} \sin(\theta)$ (3) (식에서 ε 는 실증적으로 결정되는 상수로서, 주기적으로 반복되는 피쳐들을 기반으로 기준 간섭무늬로부터 검출기(26)에서의 신호 대 잡음비를 결정(일반적으로는 제로-크로싱 결정)하기에 충분하도록 선택됨)으로 완화될 수 있다.

[0029] 도 1과 도 2에 예시된 본 발명의 특정 구성에 대한 실험들로부터, 그리고 단지 예시적 목적으로, 광학 및 구성에서의 통상적 허용 오차를 고려하였을 때, $\varepsilon \approx 50$ 이 합리적인 값이었다는 것이 밝혀졌다. 예를 들어, 만일 반사된 기준빔의 크기 $d_{ref}=2\text{ mm}$ 이고 $\theta=10$ 도라면, 기준 간섭무늬의 충분한 진폭 포락선을 유지하기 위해서는 최대 위상지연값 δ_{max} 가 0.23mm 미만이어야 한다.

[0030] 관측빔(18)의 반-발산각 α , 분광측정장치(2)에 요구되는 분광 해상도 ΔV , 및 이러한 해상도 ΔV 이 달성되는 최대 파장수 V_{max} 사이에는 또 다른 중요한 설계 제약사항이 존재한다. 이렇게 해상도는 최대 위상지연값에 반비례한다. 이는 다음과 같이 정의될 수 있고: $\delta_{max}=1/(\Delta V)$ (4), 관측빔 발산의 상한치는 다음과 같이 표현될 수 있다: $\alpha_{max}=(\delta_{max} V_{max})^{-1/2}$ (5).

[0031] 따라서, 만일 예를 들어 상기와 같이 $\delta_{max}=0.23\text{mm}$ 이고, 일반적으로 최대 파장수 $V_{max}=3000\text{ cm}^{-1}$ 라면, 최대 허용가능한 빔 발산각 $\alpha_{max}=0.085\text{ rad}$ (또는 4.9도)이다. 이 경우 얻어지는 해상도는 -거울의 이동에 의해 제한받아- 22cm^{-1} 이다.

[0032] 상기 예는, 빔스플리터(4)의 기준빔이 제1면(4')에서 관측빔의 반-발산각(α)보다 큰 입사각 θ 를 이루고, 거울의 이동(위상지연)에 의해 여전히 해상도가 제한받는 주사 간섭계(4,6,8)를 구성하는 가능성을 나타낸다. 그러나, 이런 종류의 설계는 다음 사항을 고려하면 이해할 수 있듯이 고해상도를 얻기에는 바람직하지 않은 것으로 비추어질 수도 있다: 상기 예를 따라, 향상된 해상도인 2.2cm^{-1} 에 대응되는 최대 2.3mm 위상지연값이 가능해지도록, 기준빔의 입사각 θ 가 1도로 감소될 수 있다. 그러나, 관측빔의 발산각에 대한 상한치가 이제는 $\alpha_{max}=0.027\text{ rad}$ (또는 1.5도)일 것이 요구됨에 따라, $\alpha_{max}>\theta$ 이다. 이는 도 1과 도 2의 설계가 실현될 수 없거나, 관측빔의 최대 입체각을 활용할 수 없음을 의미한다. 후자의 경우, 광에너지 출력량(throughput)이 감소되어 검출기 상의 신호 대 잡음비가 감소된다.

[0033] 전술된 두 가지 예를 도 3에서 일반적인 선도로 나타내었다. 레이저 스폿 크기 $d=2\text{mm}$ 이고, 최대 파장수 $V_{max}=3000\text{ cm}^{-1}$ 라는 가정 하에, x축은 레이저 기준빔의 입사각 및 관측빔의 발산각을 각각 나타내고, y축은 대응하는 최대 위상지연값을 나타낸다. 전술한 저해상도 설계 및 고해상도 설계는 점선으로 나타내었다. 본 선도는, 여기서 사용된 변수들에 대해, 최대 위상지연값이 대략 1mm보다 작으면 발산각보다 큰 레이저(기준원) 입사각만 가질 수 있음을 보여 준다. 위상지연값이 더 큰 경우, 즉 해상도가 더 높은 경우에는, 관측빔(18)의 전체 입체각을 장점으로 이용할 수 없다.

[0034] 본 발명에 따른 간섭계(2)의 정확도에 있어서 또 하나의 잠재적인 한계점은 기준 간섭무늬의 주기로 볼 때, 단파장 기준빔의 물리적 파장 λ 에 비해, 파장의 겹보기 편이(apparent shift)가 일어난다는 점이다. 입사각이 θ 인 경우 기준점의 위상지연값은 거울(6)의 이동보다 $\cos(\theta)^{-1}$ 배만큼 더 길다. 따라서, 기준 간섭무늬는 기준빔의 영(0)도 입사각보다 제로-크로싱(또는 다른 주기적으로 발생하는 특징)을 $\cos(\theta)^{-1}$ 배만큼 더 포함하게 되며, $(\cos(\theta) \cdot \lambda)$ 의 파장을 가진 방사원(source)처럼 보이게 된다.

[0035] 간섭계의 설계면에서 보았을 때 θ 는 높은 정확도로 알려진 값이기 때문에, 상기 겹보기 파장 편이를 보상하기 위한 교정 상수를 쉽게 산출할 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 구현예에 의하면, 이러한 교정 상수는 관측 간섭무늬에 대한 샘플링 시간을 정할 때 컴퓨터(30)에서 이용된다.

[0037] 피쳐들을 포함한 스펙트럼 패턴을 가진 기준 샘플의 측정치에 근거한 간섭무늬로부터 추출되는 분광정보의 파장 크기를 주어진 특징적 파장(들)을 이용하여 교정하는 것에 대해, 예를 들면 미국출원공개 제2008/0290279호가 공지하였다. 상기 공개문헌에서는, 이러한 교정 목적을 위해 간섭계 내부의 공기 중에 있는 CO_2 와 관련된 스펙트럼 패턴을 이용하였으며, 상기 패턴을 관측 간섭무늬의 구성요소로서 기록하였다. 따라서 본 발명에 따르면, 기

준 샘플들로부터의 스펙트럼 패턴과, 빔스플리터(4)에서의 기준빔의 입사각 θ 에 따라 결정되는 요인을 이용하여 컴퓨터(30)에서 파장 크기를 교정할 수 있다.

[0038] 도 4는 본 발명에 따른 분광측정장치(38)의 또 다른 예시적인 구현예를 나타낸다. 분광측정장치(38)는 도 1에 예시된 장치(2)와 구성면에서 대체로 유사하며; 도 1의 장치(2)에 대해 전술한 바와 같은 마이켈슨 유형의 간섭계 기하학적 구조로 구성된, 빔스플리터(40), 고정 거울(42) 및 이동 거울(44)을 포함한다. 본 구현예에서, 빔스플리터(40) 및 거울들(42, 44)은 (여기서는 방출원(48) 및 함께 작동가능한 오목형 집속 부재(50)를 포함하는) 관측 광방사원(46), 및 (단파장 레이저 방사원과 같은) 기준 방사원(52)과 동일 평면에 있다. 이때 관측빔 검출기(54) 및 기준빔 검출기(56)(그리고, 본 구현예에서 예시한 바와 같이, 샘플 큐벳(58) 및 적절하게 프로그래밍된 컴퓨터(30))와 함께 상기 방사원들(46, 52)은, 빔스플리터(40) 및 거울들(42, 44)이 그 내부에 위치하고 있는 간섭계 하우징(60)의 외부에 위치한다. 도 2에 따른 본 구현예의 한 실시예에서는, 분광측정장치(38)가 보다 융통적인 구조를 가질 수 있도록, 방사원들(46, 48)과 검출기들(54, 56) 중 하나 이상을 광섬유 케이블 또는 기타 적합한 도파관(미도시됨)을 통해 간섭계 하우징에 광학적으로 결합할 수 있다.

[0039] 도 1의 장치(2)와 관련하여 또한 기술한 바와 같이, 여기서 단파장 기준 방사원(52)은 기준빔을 생성하여, 전파경로(62)를 변경시킬 수 있는 추가적 광학 부재에 의해 방해받지 않는 간섭계 하우징(60) 내의 전파경로(62)를 따라 상기 기준빔을 발사하여 빔스플리터(40)의 제1면(40')과 초기 충돌시킨다. 관측 광방사원(46)은 발산 관측빔(64)을 생성하여, 상기 관측빔이 전파경로(66)를 횡단한 후 기준빔의 존재 하에 빔스플리터(40)의 제1면(40')과 초기 충돌하도록 한다. 간섭계(40, 42, 44)에 발사되는 관측빔(64)은 전파경로(66)와 반-발산각 α 를 이루고, 기준빔의 전파경로(62)는 관측빔(64)의 전파경로(66)에 대해 θ 의 각도로 제공되며, 본 발명에 따르면 $\theta > \alpha$ 이다.

[0040] 본 발명의 제2 구현예에 따른 분광측정장치(38)는 하기의 설계 변수들을 이용하여 실현되었다.

[0041] 관측 방사원(46):

[0042] 거울(50)의 초점거리 $f=14\text{mm}$,

[0043] 방출원(48)의 직경 $d=2\text{mm}$,

[0044] 발산각 $2\alpha = d/f = 8.2^\circ$,

[0045] 반-발산각 $\alpha=4.1^\circ$

[0046] 레이저, 단파장 기준 방사원(52):

[0047] 입사각 $\theta=18^\circ$.

[0048] 간섭계(40, 42, 44):

[0049] 최대 광학 위상지연값 $\delta_{\max} = 2L = 2*0.24\text{mm} = 0.048\text{mm}$,

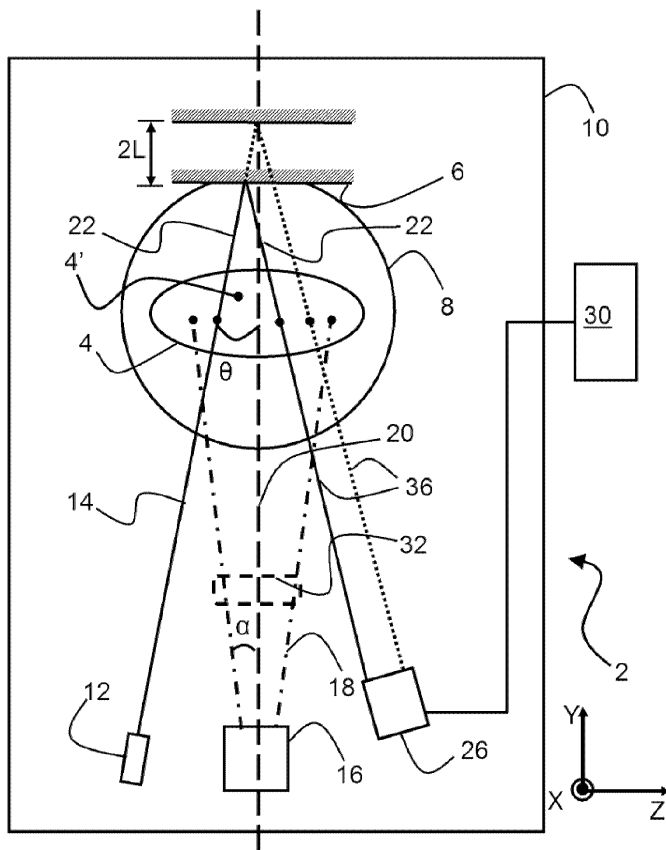
[0050] 최대(관측) 파장수 $V_{\max} = 3300\text{cm}^{-1}$,

[0051] 해상도 한계 발산각 $\alpha_{\max} = (2*0.024*3300)^{-1/2} = 4.6^\circ$,

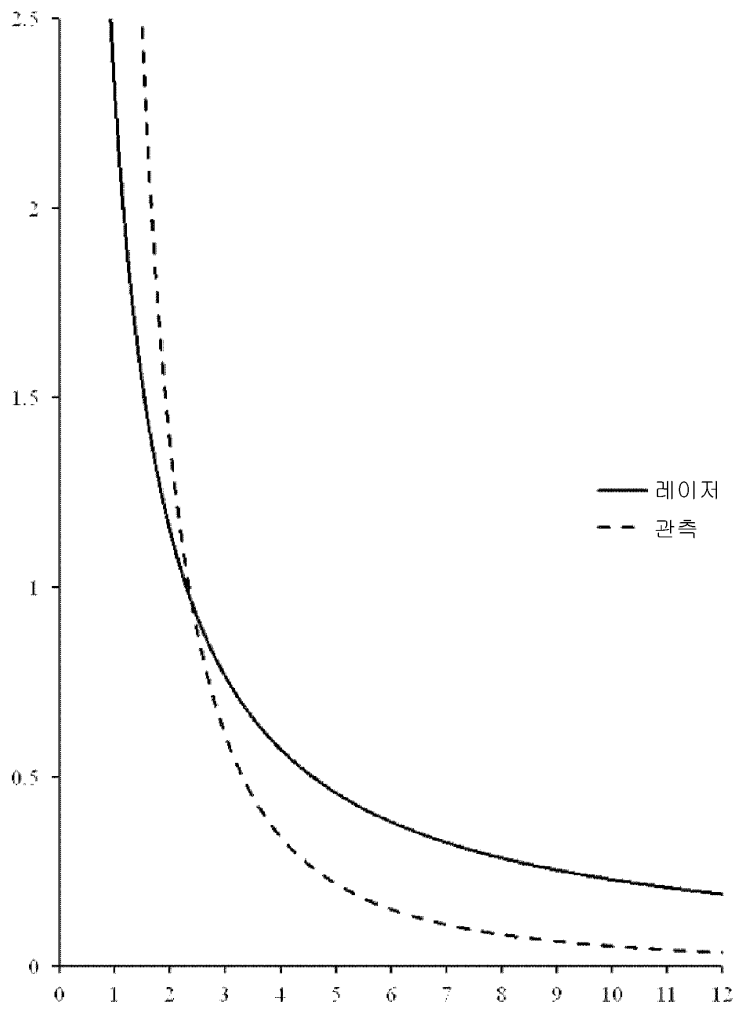
[0052] 수학적(3)에서 $\varepsilon=10$ 이라는 가정 하에 $d_{\text{ref}} = 1.5\text{mm}$.

[0053] 따라서, 본 발명에서 요구하는 바와 같이, $\alpha_{\max} > \alpha$ 이고, 레이저 스폿 크기는 1.5mm 보다 크다.

도면2



도면3



도면4

