(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl. [6]
G01B 9/02

(45) 공고일자 2002년02월02일
(11) 등록번호 10-0322938
(24) 등록일자 2002년01월21일

(21) 출원번호 10-1999-7001091
(22) 출원일자 1999년02월09일
번역문 제출일자 1999년02월09일
(86) 국제출원번호 PCT/US1997/14318
(86) 국제출원출원일자 1997년08월14일

(65) 공개번호 특2000-0068090
(43) 공개일자 2000년11월25일
(87) 국제공개번호 WO 1998/08214
(87) 국제공개일자 1998년02월26일

(81) 지정국 국내특허 : 대한민국,
EP 유럽특허: 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투칼, 스웨덴, 핀랜드,

(30) 우선권주장 08/700,112 1996년08월20일 미국(US)
19727404.8 1997년06월27일 독일(DE)

(73) 특허권자 지고 코포레이션
게리 윌리스
미합중국 코네티컷06455 미들필드 P. O. BOX 448 로렐 브룩로드

(72) 발명자 힐헨리알렌
미국애리조나주85716투쏜사우쓰아브니다드팔마스340
드그룻피터
미국코네티컷주06457미들타운로렐그로브로드355

(74) 대리인 특허법인코리아나
조영원

심사관 : 임형근

(54) 전자적인 주파수 체배수단을 사용하여 공기의 굴절률을 보상하는 방법 및 수퍼헤테로다인 간섭계 장치

요약

측정 경로 내의, 공기와 같은 기체의 굴절률의 변동을 측정하기 위한 방법 및 장치가 이들 변동과는 무관하게 대상체의 거리를 측정하기 위하여 사용될 수 있다. 코히어런트 광원 (1,4) 은, 서로 실질적인 고조파 관계인 측정 경로(66) 를 따르는 소오스 파장 (λ_1,λ_2) 을 갖는 두 개의 소오스 광빔 (11, 12) 을 갖는다. 빔 (11, 12) 은, 측정 경로 (66) 를 따라 이동하는 것에 실질적으로 민감하지 않은 수퍼헤테로다인 변조 위상을 제공하기 위하여, 고조파적으로 관련된 소오스 파장과 비슷하게 고조파적으로 관련되게 제공된 파장을 기초로하여 변조된 헤테로다인 천이를 제공하도록 전자적으로 처리 (98,981,982,983,984,985) 된다.

대표도
도 1

색인어
굴절률

명세서

기술분야

본 발명은 거리와 굴절률을 측정하기 위한 광학장치에 관한 것이다. 본 발명은, 특히, 측정 경로상의 기체 굴절률의 변동과 무관한 간섭 거리의 측정에 관한 것이다.

배경기술

계측학에서 종종 부딪히는 문제는 공기 컬럼 (column) 의 굴절률 측정이다. 공기 컬럼이 샘플 셀 내에 포함되고, 온도, 압력 및 물리적 치수에 대하여 모니터링되는, 그러한 고도로 통제된 환경 하에서 굴절률을 측정하는 몇몇 기술이 공지되어 있다. 예를 들면, Metrologia1(3), 80-83(1965) 에 기재된, 제이 테리엔(J. Terrien) 의 'An air refractometer for interference length metrology' 라는 제목의 논문이 있다.

가장 어려운 공기의 굴절률과 관련된 측정이라면, 제어되지 않은 온도와 압력을 가지며, 미지의 또는 가변의 길이를 갖는, 측정경로상의 굴절률 변동을 측정하는 것이다. 그런 환경은 지구물리학적 및 기상학적인 조사에서 종종 발생되는데, 공기 밀도와 조성비의 변화로 인하여, 굴절률이 극적으로 변화하고 대기가 명확하게 통제되지 않기 때문이다. 이러한 문제는 Appl. Opt.23(19), 3388-3394(1984) 에, 에이치 마쓰모토(H.Matsumoto) 와 케이 쓰까하라(K. Tsukahara) 의 'Effects of the atmospheric phase fluctuation on long distance measurement' 의 논문과 Appl. Opt.23(23), 4383-4389(1984) 에 지 엔 깁슨(G.N. Gibson) 등의 'Optical path length fluctuation in the atmosphere' 의 논문에 기재되어 있다.

공기의 굴절률을 측정할 때 부딪히는 또 다른 문제의 경우로는, 집적회로의 마이크로 리소그래피 공정에 사용되는, 고정밀도의 거리 측정 간섭계이다. 예를 들어, Appl. Opt.26(13), 2676 - 2682 (1987) 에 기재된 엔 봅로프(N.Bobroff) 의 'Residual errors in laser interferometry from air turbulence and non-linearity' 의 논문과 Measurement science tech.4(9), 907-926(1993) 에 기재된 엔 봅로프(N.Bobroff) 의 'Recent advances in displacement measuring interferometry' 라는 논문이 있다. 전형적으로 굴절률 변동에 대한 보정은 그 크기가 0.1 ppm(parts per million) 정도이며, 0.005ppm 까지 정확해야한다. 이러한 고 정밀도는 주파수가 안정한 레이저 소오스와 고분해능의 위상 검출을 필요로 한다.

종래 기술에서 주로 참조되는 것으로서, 헤테로다인 위상 추정법이 있는데, 위상이 시간에 따라 제어되는 방식이다. 예컨대, 종래기술의 헤테로다인 거리-측정 간섭계의 공지된 형태에서는, 소오스가 약간 다른 광주파수(예를 들어 2MHz)를 갖는 두개의 직교편광을 방출한다. 이러한 경우 간섭계의 수광부는 선형 편광기와 광검출기를 일반적으로 포함하여, 시변 간섭신호를 측정한다. 상기 신호는 맥놀이 (beat) 주파수에서 진동하며, 신호의 위상은 상대 위상차와 일치한다. 헤테로다인 거리측정 간섭계의 또 다른 종래 기술의 대표적인 예가, 지.이.섬마그렌 (G.E.Sommargren) 과 엠 스캄(M. Schaham) 의 공동소유인 미국특허 번호 제 4,688,940 호(1987) 에 개시되어 있다. 그러나, 이러한 공지된 간섭계의 계측법에서는 굴절률의 변동에 의해 제한되기 때문에, 그것만으로는 차세대의 마이크로리소그래피 장치로 적절하지 않다.

거리측정을 위한 간섭계의 또 다른 공지된 형태가 제이 디 레드맨 (J.D.Redman) 과 엠 알 월 (M.R.Wall) 의 'Interferometric methods and apparatus for measuring distance to a surface' 의 제목의 미국특허번호 제 4,005,936

(1977) 에 기재 되어있다. 상기 레드맨과 월의 방법은, 각각 두 개의 부분으로 분리되는, 두 개의 상이한 파장의 레이저 빔을 사용하는 것을 포함한다. 각 빔의 한 부분에 주파수 천이가 도입된다. 각 빔의 한 부분은 대상체로부터 반사되며, 광검출기 상에서 다른 부분과 결합되어, 간섭신호를 만든다. 검출기의 간섭신호로부터 차 주파수를 유도하며, 차 주파수의 위상이 표면까지의 거리 측정값이 된다. 차 주파수에 해당하는 위상의 등가 파장은, 상기 두 파장의 차에 두 레이저 파장의 곱을 두 파장의 차로 나눈 것이 된다. 상기 레드맨과 월의 2-파장 기술은 측정의 모호성을 감소시키기는 하나, 종래의 단일-파장 기술만큼 공기의 굴절률 변동에 민감하지는 못하다.

상기 레드맨과 월의 것과 비슷한 2-파장 간섭계의 또 다른 예가 알 댄들리케르(R. Dandliker)와 더블유 헤르부르크(W..Heerburgg) 의 'Method and apparatus for two-wavelength interferometry with optical heterodyne processes and use for position or range finding' 라는 제목으로 미국특허번호 제 4,907,886 (1990) 에 기재되어 있다. 상기 종래 시스템은 Opt. Let.13(5), 339-341 (1988) 에 알 댄들리케르, 알 탈맨(R.Thalmann), 디 프롱그 (D.Prongue) 의 'Two-wavelength laser interferometry using superheterodyne detection' 이란 제목으로 기재되어 있으며, 알 댄들리케르, 케이 휴그(K.Hug), 제이 폴리치(J.Politch) 및 이 지메르맨(E.Zimmermann) 의, 'High-accuracy distance measurements with multiple-wavelength interferometry' 란 제목으로 기재되어 있다. 미국특허번호 4,907,886 호에 기재된 댄들리케르 등의 시스템은 두 파장의 레이저 빔을 사용하며, 상기 빔의 각각은 음향광학변조 (acousto-optic modulation) 에 의해서 주파수 분리된 두 개의 편광성분을 포함한다. 상기 빔이 동일선상으로 (colinearly) 마이켈슨 간섭계를 통과한 후, 상기 편광 성분이 혼합되고, 헤테로다인 신호가 생성된다. 이 헤테로다인 신호는 각 두 파장에 대하여 상이한 주파수를 갖기 때문에, 상기 헤테로다인 주파수의 차와 동일한 주파수와, 두 레이저 파장의 곱을 두 파장의 차로 나눈 것과 동등한 파장인 등가 파장에 해당하는 위상을 갖는, 소위 수퍼헤테로다인 신호를 발생시킨다. 미국특허번호 제 4,907,886 호에 따르면, 상기 수퍼헤테로다인 신호의 위상은 측정 대상체의 위치와 등가 파장에만 의존한다고 가정한다. 그러므로, 상기 종래 시스템은 또한 공기의 굴절률의 변동을 측정하거나 보상하도록 설계되지는 않았다.

레드맨과 웰, 및 댄들리케르와 헤르부르크에 의해서 개발된 2-파장 수퍼헤테로다인 기술의 또 다른 예가, Appl. Opt. 30(22), 3139-3144(1991) 에, 지 소드니크(Z.Sodnik), 이 피셔(E.Fischer), 티 이트너(T.Ittner) 및 에이치 제이 티지아니(H.J.Tiziani) 의 'Two-wavelength double heterodyne interferometry using a matched grating technique' 란 제목의 논문과, SPIE1319, 214-216 (1990) 에 에스 맨하트(S.Manhart) 와 알 마우렐(R.Maurer) 의 'Diode laser and fiber optics for dual-wavelength heterodyne interferometry' 란 제목의 논문에서 발견할 수 있다. 그러나, 이 예들 중 어느 것도 굴절률 변동의 문제점을 다루고 있지는 않다.

전술한 예들에서 알 수 있는 바와 같이, 종래의 헤테로다인 및 수퍼헤테로다인 간섭법은 공기의 굴절률의 변동을 보상하고 측정하는 방법과 대응되는 수단을 만족스럽게 제공하지 않는다는 결론을 얻을 수 있다. 종래 기술에서의 이러한 결함은 심각한 측정 불확실성을 발생시켜서, 그런 간섭계를 사용하는 시스템, 예컨대 집적회로의 마이크로-리소그래피 공정에서의 시스템의 정밀도에 심각한 악영향을 발생시킨다. 결과적으로 미래의 간섭계는 필연적으로 굴절률 변동을 측정하고 보상하기 위하여 개발된 새로운 방법 및 수단과 일체화되어야한다.

굴절률 변동을 검출하기 위한 한 방법으로 측정경로상의 압력과 온도의 변화를 측정하고, 경로의 굴절률에 대한 결과를 계산하는 것이 있다. 이러한 계산을 하기 위한 수학식이 에프 이 존스(F.E Jones) 의 J. Res. NBS86(1),27-32(1981) 에 'The refractivity of air' 란 제목의 논문으로 개시되어 있다. 상기 종래 기술의 구현은, Appl. Opt.24(6), 808-815 (1985) 에 더블유 티 에스틀러(W.T.Estler) 의 'High-accuracy displacement interferometry in air' 란 제목의 논문으로 개시되어 있다. 그러나, 이 기술은 근사값만을 제공하며, 성가신 작업이 있으며, 공기 밀도의 느리고 포괄적인 변동에 대해서만 보정하여, 여전히 만족스러운 것은 아니다.

경로상의 굴절률 변동을 검출하기 위한 좀 더 직접적인 또 다른 방법으로는 다중-파장 거리 측정법이 있다. 이것의 기본 원리는 다음과 같이 이해될 수도 있다. 간섭계와 레이저 레이더는 대부분 대기에서 기준과 대상체 사이의 광로 길이를 측정한다. 광로 길이는 굴절률과 측정빔이 이동한 물리적 경로의 곱의 적분이다. 굴절률은 파장에 따라서 변화하지

만, 물리적 경로는 파장과 무관하다는 점에서, 장치가 2 개 이상의 파장을 사용한다면, 물리적 경로 길이를 굴절률의 변동과 분리시킬 수 있다. 파장에 따른 굴절률의 변화는 분산으로서 알려져 있으며, 이 기술은 분산 기술로서 이후에 언급될 것이다.

굴절률 측정을 위한 종래의 분산 기술은 긴 역사를 지니며, 레이저의 도입보다 먼저이다. 케이 이 에릭슨(K.E.Erickson)(J.Opt.Soc.Am.52(7),781-787(1962)) 의 'Long-path interferometry through an uncontrolled atmosphere' 란 제목의 논문에 기초원리가 기재되어 있으며, 종래의 지구물리학적 측정기술의 용이한 분석을 제공한다. 부가적인 이론적인 제안은, 피 엘 벤더(P.L.Bender) 와 제이 시 오웬스(J.C.Owens)(J.Geo.Res.70(10),2461-2462(1965)) 에 의한 'Correction of optical distance measurements for the fluctuating atmospheric index of refraction' 이란 제목의 논문에서 발견할 수 있다.

굴절률 보상을 위한 종래의 분산 기술을 기초로한 상용 거리-측정 레이저 레이더가 1970 년대에 나타났다. 케이 비 어언쇼우(K.B.Earnshaw) 와 이 엔 헤맨데즈(E.N.Hemandez) 의 Appl. Opt.11(4), 749-754(1972) 에 개시된 'Two-laser optical distance-measuring instrument that corrects for the atmospheric index of refraction' 제목의 논문에서는, 5 내지 10 Km 의 측정 경로 상에서 작동하는 마이크로파 변조된 HeNe 및 HeCd 레이저를 채용한 장치를 개시하고 있다. 또한 이 기계의 상세한 설명은, J.Geo.Res.77(35),6994-6998(1972) 에 이 엔 헤맨더즈 및 케이 비 어언쇼우의 'Field Tests of a two-laser(4416A 및 6328A) optical distance-measuring instrument correcting for the atmospheric index of refraction' 란 제목의 논문에서 발견할 수 있다. 또한, J.Geo.Res.85(B11), 6513-6520 (1980) 에, 이 베르그(E.Berg) 와 제이 에이 카르터(J.A.Carter) 의 'Distance corrections for single- and dual-color lasers by ray tracing' 의 제목의 논문과, J.Geo.Res.81(35), 6299-6306(1976) 에 엘 이 슬레이터(L.E.Slater) 와 지 알 휴게트(G.R.Huggett) 의 'A Multi wavelength distance-measuring instrument for geophysical experiment' 의 제목의 논문이 있다.

비록 종래의 지구물리학적 측정장비는, 통상적으로 강도 변조 레이저 레이더를 사용하지만, 근거리에 있어서는 광간섭 위상검출 방식이 좀 더 바람직한 것으로 알려져 있다. 알 비 지핀(R.B. Zipin) 과 제이 티 잘루스키(J.T.Zalusky) 의 'Apparatus for and method of obtaining precision dimensional measurements' (1972) 란 제목의 미국특허번호 3,647,302 호에는, 온도, 습도 및 압력과 같은 대기 조건의 변화를 보상하기 위하여 다중 파장을 사용하는 간섭 변위측정 시스템을 개시하고 있다. 상기 종래 장치는 특히 이동가능 대상체, 즉 변동가능 물리적 경로 길이에서 동작하도록 설계된다. 그러나, 종래의 지핀과 잘루스키의 위상 검출 수단은 고정밀도 측정의 정확도에는 불충분하다.

좀 더 현대적으로 설명된 예가, SPIE1319, Optics in complex systems,538-539(1990) 에 와이 쥬(Y.Zhu), 에이치 마쓰모또 (H.Matsumoto), 티 오이시(T. O'ishi) 의 'Long-arm two-color interferometer for measuring the change of air refractive index' 란 제목으로 기재된 시스템이다. 상기 쥬 등의 시스템은 1064 nm 파장의 YAG 레이저와 632 nm 의 HeNe 레이저를 직각 (quadrature) 위상 검출기 와 함께 사용한다. 실질적으로 동일한 장치가 일본에서 쥬 등의 Proc. 3rd meeting on lightwave sensing technology, Appl. Phys.Soc. of Japan, 39(1989) 에 'Measurement of atmospheric phase and intensity turbulence for long-path distance interferometer' 란 제목의 논문으로 개시되어 있다. 그러나, 쥬 등의 간섭계는 모든 응용, 예를들어 마이크로리소그래피용의 종래 서브마이크론 간섭법에서는 충분한 분해능을 갖지 못한다.

고정밀도 간섭법에 대한 최근 시도는 에이 이시다의 미국특허번호 제 4,948,254(1990) 에서 설명된다. 비슷한 장치가 Jpn.J.Appl.Phys.28(3), L473-475(1989) 에 'Two-wavelength displacement-measuring interferometer using second-harmonic light to eliminate air-turbulence-induced errors' 란 제목의 논문으로 설명되어 있다. 이 논문에서, 변위-측정 간섭계는 2-파장 분산 검출에 의해 굴절률의 변동에 의해서 발생된 오류를 제거하는 것을 개시하고 있다. Ar 레이저 소오스는 BBO 로서 기술분야에서 공지된 주파수 2배화 결정 (frequency-doubling crystal) 에 의해서 동시에 두 개의 파장을 제공한다. BBO 2배화 결정의 사용은 기본적으로 위상이 고정된 두 개의 파장을 발생하여서, 굴절률 측정의 정확성과 안정성을 크게 개선한다. 그러나, 단지 호모다인 (homodyne) 직교 검출만을 사용하는, 위상 검출 수단은 고분해능의 위상 측정에 충분하지 않다. 또한, 위상 검출 및 신호 처리 수단은, 대상체의 이동이 위상의 빠른 변화를 발생시켜서, 정확하게 검출하는 것이 어렵기 때문에, 동적 측정에는 적합하지 않다.

에스 에이 리스(S.A.Lis) 의 'Interferometric measuring system with air turbulence compensation' 란 제목의 미국특허번호 5,404,222 (1995) 에서는, 굴절률 변동을 검출하고 보상하기 위한 분산 기술과 두 파장 간섭계를 사용한 또 다른 종래 기술을 개시하고 있다. 비슷한 장치가 리스에 의해, SPIE2440(1995) 에, 'An air turbulence compensated Interferometer for IC manufacturing' 란 제목으로 개시되어 있다. 리스에 의한 미국특허번호 5,404,222 호에 대한 개선으로 1996 년 7월에 등록된 미국특허번호 5,537,209 호가 있다. Jpn. J.Appl.Phys.(상기 인용) 에서 이시다에 의해 개시된 내용에 대한 시스템의 원리 혁명은 위상 검출 수단의 정밀도를 증가하기 위하여 또다른 BBO 2배화 결정을 추가하였다. 이 추가의 BBO 결정은, 정확히 2의 정수배의 차가 나는 파장을 갖는 두 빔을 광학적으로 간섭시키는 것이 가능하다. 그 간섭의 결과는 굴절률에 직접적으로 의존하나 스테이지 이동과는 실질적으로 무관한 위상을 갖는다. 그러나, 상기 리스의 시스템은 모든 측정 경로에 대하여 추가의 BBO 결정을 요구하며 복잡하다는 단점이 있다. 마이크로 리소그래피 스테이지가 6 개 이상의 측정 경로를 종종 포함하며, BBO 의 가격이 $12,000 이상이 될 수 있다는 점에서, 부가적인 결정은 심각한 가격 부담을 일으킨다. 리스 시스템의 또 다른 단점은 PZT 변환기의 물리적 변위를 기초로 하는 저속(32Hz) 위상 검출 시스템을 사용한다는 것이다.

상기로부터 명확하게 알 수 있는 것처럼, 종래기술은 공기의 굴절률의 변동을 측정하고 보상하기 위하여 실질적으로, 고속, 고정밀도의 방법과 그에 대응하는 수단을 제공하지 못한다. 종래 기술의 한계는 다음의 풀리지 않는 기술적 애로점으로부터 원리적으로 발생된다; 1) 종래기술의 헤테로다인 및 수퍼헤테로다인 간섭계가 공기의 굴절률의 변동에 의해서 정확성이 제한되며, 2) 굴절률 변동을 측정하기 위한 종래의 분산기술은 고정밀도 거리측정 간섭계의 일반적인 정확도 크기의 정도를 일반적으로 초과하는, 간섭 위상 측정에서 높은 정확성을 요구하며, 3) 위상 측정 정확성을 개선하기 위한 종래기술의 간섭계에 대한 변형은 현대 마이크로리소그래피 장치에서 빠른 스테이지 이동과 양립될 수 없을 정도까지 측정시간이 증가되며, 4) 종래 기술의 분산 기술은, 다중의 위상 동기 파장을 방출하는 극도로 안정된 레이저 소오스 혹은 단일 소오스를 두 개 이상을 요구하며, 5) 마이크로리소그래피 응용에서의 종래의 분산 기술은 측정시 스테이지 이동에 민감하여서 시스템 오류를 발생하며, 6) 검출 시스템의 부분으로서 2배화 결정 (예를들어, 리스의 미국특허번호 5,404,222 호) 을 사용하는 종래 기술의 분산 기술은 가격이 높고 복잡하다는 것이다.

종래기술에서의 이러한 결함으로, 굴절률 변동이 존재할 경우, 마이크로리소그래피에서 변위 측정을 실행하는데에는, 어떤 실제적인 간섭계 시스템도 사용되지 않고 있다.

발명의 상세한 설명

본 발명에 따르면, 측정 경로상의 기체의 굴절률의 변동을 측정하기 위한 장치와 방법, 즉 상기 변동과는 독립적인 거리측정 간섭법에 유용한 장치와 방법으로서, 1) 각각 상이한 파장을 갖는 두 개 이상의 광빔들의 소오스로서, 상기 파장은 서로에 대하여 또는 공통 기준에 대하여, 공지된 근사 고조파 관계를 갖는 광빔 소오스, 2) 상기 각 광빔들의 두 직교 편광 상태간의 주파수 차로서, 2 개 이상의 광빔간에 서로 다른 주파수차를 도입하는 수단, 3) 상기 광빔들 모두를 단일빔으로 정렬하여 측정경로를 따라서 실질적으로 동일한 직경을 가지며, 실질적으로 동일직선상이 되도록 하는 광학수단, 4) 상기 광빔들 각각의 편광 상태 사이에 위상 천이를 도입하여, 위상 천이된 빔을 생성하는 광학 수단으로서, 상기 천이의 크기는 측정경로의 물리적인 길이와 측정경로 내의 기체의 굴절률의 곱에 비례하며, 상기 굴절률은 파장의 함수이며, 상기 위상 천이된 빔 각각에 대하여 상이하도록 하는 광학수단, 5) 두 개 이상의 혼합된 출력 빔들을 생성하기 위하여 상기 위상 천이된 광빔의 각각의 편광 성분을 혼합하는 수단으로, 바람직하게는 편광판인 수단, 6) 상기 혼합된 출력 빔들의 강도로부터 헤테로다인 전기 신호를 생성하기 위한 수단으로, 바람직하게는 광전 검출인 수단으로서, 상기 헤테로다인 전기 신호는 상기 광빔들의 편광 상태들간의 상기 주파수 차와 관련된 헤테로다인 주파수에서 진동하며, 상기 헤테로다인 전기 신호는 헤테로다인 위상을 갖는 것을 특징으로 하는 수단, 7) 상기 헤테로다인 전기 신호를 처리하여 변환된 헤테로다인 신호를 생성하는 수단으로서, 변환된 헤테로다인 위상은 헤테로다인 위상과 고조파 관계인 것을 특징으로 하며, 바람직하게는 전자장치인 수단, 8) 상기 변환된 헤테로다인 전기 신호중 임의의 두 개를 혼합 (mixing) 하여 하나 이상의 수퍼헤테로다인 전기 신호를 생성하기 위한 수단으로, 상기 수퍼헤테로다인 전기 신호는 두 해당 변환된 헤테로다인 주파수 차의 1/2 과 동일한 수퍼헤테로다인 변조 주파수와, 두 해당 변환된 헤테로다인 위상차의 1/2 과 동일한 수퍼헤테로다인 변조 위상을 갖는 진폭 변조 반송파를 포함하는 수단으로서, 바람직하게는 전자장치인 수단, 및 9) 상기 측정 경로 상에 기체의 굴절률의 변동을 결정하기 위한 수퍼헤테로다인 변조 위상을 분석하는 수

단으로, 바람직하게는 전자장치인 수단을 포함한다.

본 발명의 원리의 장점은 아래와 같이 요약될 것이다. 소오스 파장은 실질적으로 고조파 관계이며, 변환된 헤테로다인 위상 천이가 동일하게 고조파 관계가 될 경우, 본 발명은 스테이지 이동에 실질적으로 민감하지 않은 수퍼헤테로다인 변조 위상을 제공한다. 상기 수퍼헤테로다인 변조 위상은 공기의 굴절률의 변동을 직접 측정한 것이다. 수퍼헤테로다인 변조 주파수를 임의의 편리한 값으로 조정할 수도 있기 때문에, 굴절률 변동에 대한 보상을 위하여 위상 측정 정확도를 적절하게 강화시킬 수도 있다. 종래 기술에 대한 이러한 개선은 2배화 결정 등의 값비싼 광학성분없이도 편리하게 얻으며, 빠른 스테이지 이동에 대한 어떠한 제한 없이도 얻을 수 있다.

본 발명의 또 다른 실시예는 추가의 모니터 간섭계 수단과 종래 장치에 사용된 실질적으로 동일한 전자처리수단을 사용하여, 소오스 파장의 예상치 않은 변동에 대한 보상의 능력을 포함한다. 모니터 간섭계는 바람직하게는 미세하게 조절되는 굴절률을 갖는 고정된 모니터 경로 길이를 포함하여서, 모니터에서의 임의의 측정 변화가 파장 안정성의 측정값에 기여하고 그 측정값을 제공한다.

도면의 간단한 설명

도면에서, 동일한 도면부호는 도면을 통하여 동일한 부품을 나타낸다.

도 1 은 발명의 바람직한 실시예를 보여주는 도면이다.

도 2 는 본 발명에 따르는 수퍼헤테로다인 신호를 설명하는 그래프이다.

도 3 은 본 발명에서 사용된 전자처리장치의 블록도를 보여주는 도면이다.

도 4 는 본 발명의 또 다른 실시예를 보여주는 도면이다.

실시예

먼저 도 1 을 참조하면, 측정 경로 (66) 내의 기체의 굴절률의 변동을 측정하는 본 발명의 일실시예에 따른 장치가 도시되었는데, 상기 변동과는 무관하게 대상체 (67) 의 변위를 측정할 수 있는 장치이다.

본 발명의 바람직한 방법에 따르면, 제 1 단계에서, 소오스 (1) 로부터 방사된 광빔 (11) 은 구동기 (3) 에 의해서 활성화된 변조기 (2) 를 통과한다. 소오스 (1) 는 바람직하게는 편광되어 있으며, 파장 λ_1을 가지는 코히어런트한 방사 레이저 등이다. 변조기 (2) 는 예를 들어 음향-광학 장치 혹은 빔 (11) 의 편광 성분을 선택적으로 변조하는 추가의 광학장치와 음향-광학 장치와의 결합체일 수도 있다. 변조기 (2) 는 직교선형 편광성분에 대하여 빔중 하나의 선형 편광성분의 진동 주파수를 f_1 만큼 천이시키며, 상기 편광 성분은 x 와 y 방향 성분으로 나타내어졌다. 그러므로, 변조기 (2) 를 통과한 후에, 빔(11) 의 x 편광성분은 빔 (11) 의 y 편광성분에 대하여 f_1 만큼 상방으로 천이된 진동 주파수를 갖는 것이 바람직하다.

다음 단계에서, 변조기 (2) 와 구동기 (3) 와 유사하게, 소오스 (4) 로부터 방출된 광빔 (12) 은 구동기 (6) 에 의해서 활성화된 변조기 (5) 를 통과한다. 소오스 (4) 는 소오스 (1) 와 유사하게 , 편광되어 있으며, 코히어런트 방사를 하는 레이저 등이나, 상이한 파장 λ_2을 가지며, λ_2에 대하여 공지된 근사 고조파 관계, 즉 $P1_1, P2_2 = 1, 2, 3, ..., P1_1 \neq P2_2$ 일 때,

수학식 1

$$p_1\lambda_2=p_2\lambda_1$$

의 관계를 갖는 것이 바람직하다.

변조기 (5) 를 통과한 후, 빔 (12) 의 x 편광성분은 빔 (12) 의 y 편광성분에 대하여 f_2 양만큼 상방으로 천이된 진동 주파수를 갖는다.

빔 (11 및 12) 은 하나 이상의 파장을 방사하는 단일 레이저 소오스 혹은 광 주파수 2 배화 수단과 결합된 단일 레이저 소오스에 의해서 선택적으로 제공될 수도 있으며, 혹은 두 개 이상의 파장의 광빔을 발생할 수 있는 어떤 등가 소오스로도 구성될 수도 있음은 당업자에게는 자명한 것이다. 주파수 천이 f_1, f_2 의 하나 혹은 양자가 레이저 소오스 그 자체의 지만 스플릿팅 (Zeeman splitting) 등의 현상특성의 결과일 수도 있다는 것 또한 자명한 것이다.

다음 단계에서, 빔 (11 및 12) 은 광학소자 (9) 에 의해 테스트빔 (13) 으로 결합되는데, 바람직하게는 비편광 빔스플릿터이다.

다음 단계에서, 테스트 빔 (13) 이 간섭계 (60) 로 전파되며, 상기 간섭계 (60) 는 파장 λ_1 에 대응하는 빔 (13) 의 x 및 y 편광성분 사이에 위상 천이 φ_1 과 파장 λ_2 에 대응하는 x 및 y 편광성분 사이에 위상 천이 φ_2 를 도입하는 광학수단을 포함한다. 위상 천이 φ_1, φ_2 의 크기는 이하의 식에 따라, 측정 경로 (66) 의 물리적 길이 (L) 와 관련된다.

수학식 2

$$\varphi_j=Lk_jn_j+\zeta_j$$

j=1,2

여기서 파수 k_j 는

수학식 3

$$k_j=2\pi/\lambda_j$$

이며, 측정 경로 (66) 내의 기체의 굴절률 n_j 는 파장 λ_j 에 대응한다. 위상 오프셋 ζ_j 는 측정 경로 (66) 와 무관한 위상천이에 기여되는 모든 것을 포함한다.

도 1 에 도시된 것처럼, 간섭계 (60) 는 기준 미러 (65), 1/4 파장판 (21), 1/4 파장판 (22), 편광빔 스플릿터 (23) 및 이동 스테이지 (68) 에 연결되어 측정 경로 (66) 를 변경하도록 이동될 수도 있는 대상체 (67) 로 구성된다. 상기 구성은 편광 마이켈슨 간섭계로서 본 기술분야에서는 공지되어 있으며, 간단하게 도시되어 있다. 집적회로의 마이크로리소그래피 공정에서 통용되는 스테이지에 대하여는, 씨 자논니(C. Zanoni) 의 'Differential interferometer arrang

ements for distance and angle measurements: Principles, advantages and applications' (VDI Berichte Nr. 749, p93, 1989) 에서 설명된 것과 같은 각도-보상 간섭계 혹은 유사 장치가 본 발명의 장치와 통합되는 것이 바람직하다. 씨 자논니에 의한 'Differential interferometer arrangements for distance and angle measurements : Principle, advantages and applications.' (VDI Berichte Nr. 749, p93, 1989) 에 서술된 것처럼 본 분야에서 공지된 간섭계와 다른 형태가, 본 발명의 정신과 영역으로부터 벗어나지 않는다면, 도 1 의 발명의 장치에 통합될 수도 있다.

간섭계 (60) 를 통과한 후, 테스트빔 (13) 은, 위상 천이된 빔 (15) 이 되며, 그 후 빔 (15) 의 x 및 y 편광성분을 혼합하도록 배향된 편광기 (44) 를 통과하는 것이 바람직하다. 종래의 다이크로익 (dichroic) 빔스플릿터 (80) 는 바람직하게는 파장λ_1,λ_2에 대응하는 빔 (15) 의 부분을 각각 두 빔 (16,17) 으로 분리한다. 그런 후, 빔 (16, 17) 은 각각 광검출기 (46) 및 광검출기 (45) 와 부딪혀서, 두 개의 파장 λ_1,λ_2에 각각 대응하는 두 개의 헤테로다인 간섭 신호s_1,s_2를 각각 생성하며, 이것은

수학식 4

$$s_j=\cos[\alpha_j(t)]$$

j =1,2

의 형태를 가지며, 여기서 헤테로다인 간섭 신호s_1,s_2의 시간종속 변수$\alpha_1(t),\alpha_2(t)$는,

수학식 5

$$\alpha_j(t)=2\pi f_j t+\varphi_j$$

에 의해서 주어지며, 신호 진폭은 1 로 정규화 (normalized) 되며, 임의의 상수 오프셋 값들은 선행 전자처리수단 (도시되지 않음) 에 의해서 필터링된다. 헤테로다인 간섭 신호s_1,s_2는 분석을 위하여 전자 처리 수단 (98) 으로 전송된다.

도 3 을 참조하면, 전자처리수단 (98) 은 계수 p1, p2 각각을 헤테로다인 간섭신호 s_1,s_2의 시간 종속 변수$\alpha_1(t),\ \alpha_2(t)$에 전자적으로 체배하기 위한 수단 (981) 을 포함하여, 두개의 변환된 헤테로다인 신호 $\overline{s_1},\ \overline{s_2}$ 를 생성하고, 이것은

수학식 6

$$\overline{s_j}=\cos[p_j\alpha_{j(t)}]$$

j=1,2

의 형태를 갖는다.

상기 체배은 전자적인 필터링을 수반하는 신호 제곱화 (signal squaring) 등의 종래 기술에서 공지된 종래의 주파수 체배화 기술 중 어느 하나에 의해서도 성취될 수 있다. 그런 전자적인 체배화 기술이 본 발명의 분석 기술의 현재의 단순화된 설명에서는 무시될 수도 있는 신호 강도의 오프셋 및 변형을 도입할 수도 있음은 자명할 것이다. 계수 P_1, P_2는 수학식 1 에서의 근사 고조파 관계를 정의하기 위하여 사용된 계수 P_1, P_2와 동일한 것이 바람직하다.

도 3 을 참조하면, 전자처리수단 (98) 은 두 개의 변환된 헤테로다인 신호 $\overline{s_1}$, $\overline{s_2}$를 전자적으로 가산하는 수단 (982) 을 포함하는 것이 바람직하며, 다음의 수학적인 형태를 갖는 수퍼헤테로다인 신호 S 를 생성한다.

수학식 7

$$S=\overline{s_1}+\overline{s_2}$$

상기 식을 다시 쓰면,

수학식 8

$$S=2MC$$

여기서,

수학식 9

$$C=\cos(2\pi\upsilon t+\vartheta)$$

수학식 10

$$M=\cos(2\pi Ft+\Phi)$$

및

수학식 11

$$\upsilon=\frac{1}{2}(p_1f_1+p_2f_2)$$
$$\vartheta=\frac{1}{2}(p_1\varphi_1+p_2\varphi_2)$$

수학식 12

$$F=\frac{1}{2}(p_1f_1-p_2f_2)$$
$$\Phi=\frac{1}{2}(p_1\varphi_1-p_2\varphi_2)$$

그러므로, 수퍼헤테로다인 신호 S 는 주파수 F 의 포락선 (envelope) 신호 M 으로 변조된 주파수 ν의 반송파 신호 C 이다. 변환된 헤테로다인 신호$\overline{s_1}$, $\overline{s_2}$가 상이한 진폭을 가질 때, 그 결과의 수학적 표현은 좀 더 복잡해지나, 그럼에도 불구하고, 포락선 신호에 의해서 변조된 반송파 신호의 항으로 설명될 수도 있다는 것은 당업자에게는 자명한 것이다. 본 발명의 설명을 단순화하기 위하여, 변환된 헤테로다인 신호$\overline{s_1}$, $\overline{s_2}$는 동일한 진폭을 갖는다고 가정한다.

도 3 을 참조하면, 전자 처리 수단 (98) 은, 정류 및 필터링, 신호 제곱화 (squaring) 혹은 진폭 변조를 추출하고 반송파를 복조하기 위한 어떠한 기술을 사용하여, 반송파 신호 C 로부터 포락선 신호 M 을 분리하는 수단 (983) 을 포함하는 것이 바람직하다. 전자 처리 수단 (98) 은 종래의 시간기반의 위상 검출방법 등을 사용하여 변조 위상 Φ를 결정하는 수단 (985) 을 더 포함한다. 전자 처리수단 (98) 은 수단 (986) 과 수단 (987) 을 더 포함하여, 위상 φ_1 및 φ_2를 각각 결정한다.

다음 단계에서, 전자 처리 수단 (98) 은, 변조 위상 Φ 와, 위상천이φ_1,φ_2의 값을, 디지털 혹은 아날로그 형태로, 컴퓨터 (99) 로 보낸다. 컴퓨터 (99) 는 반송파 위상 ϑ를 계산하고 다음의 식을 사용하여 굴절률을 계산하다.

수학식 13

$$n_1=1+\frac{A}{L}(K\vartheta-\chi\Phi-Q)$$

여기서,

수학식 14

$$A=\frac{2\Gamma}{(\chi^2-K^2)}$$

수학식 15

$$K=\frac{1}{2}(p_1k_1-p_2k_2)$$

수학식 16

$$\chi=\frac{1}{2}(p_1k_1+p_2k_2)$$

수학식 17

$$\Gamma=\frac{n_1-1}{n_2-n_1}$$

이다.

상기에서 정의된, 상수 Γ는 공기의 굴절률의 분산 측정값이다. 예를 들어, 만일 λ_1=0.63㎛ 및 λ_2=0.33㎛ 이라면, Γ=24 이다. 오프셋 인자 Q 는

수학식 18

$$Q=K\xi-\chi Z$$

로 정의되며, 여기서

수학식 19

$$\xi=\frac{1}{2}(p_1\zeta_1+p_2\zeta_2)$$

수학식 20

$$Z=\frac{1}{2}(p_1\zeta_1-p_2\zeta_2)$$

이다.

본 발명의 바람직한 실시예에 있어서, Q 는 상수로 간주되거나, 혹은 전자적인 수단 (도시되지 않음) 으로 모니터링된다.

수학식 (15,16) 에 삽입된 값 K 와 χ는 각각 진공 수퍼헤테로다인 파수와 진공 반송파 파수라 한다. 이 용어는 $n_1=n_2=1$ 일 때, 유효한 다음의 두 위상식을 논리적으로 따른다.

수학식 21

$$\vartheta=\chi L+\xi$$

수학식 22

$$\Phi=KL+Z$$

이다. 같은 이유로서, 수학식 (19,20) 에 삽입된 값 ξ 및 Z는 각각 진공 반송파 위상 오프셋과 진공 수퍼헤테로다인 위상 오프셋이라 한다.

마지막 단계로서, 거리 측정 간섭법과 관련된 적용에 대하여, 위상천이 φ_1 함께 굴절률 n_1 의 계산값은, 다음의 식을 사용하여, 굴절률 n_1 의 변동과 무관하게 거리 L 를 결정하기 위해 사용될 수 있다.

수학식 23

$$L=\frac{\phi_1-\zeta_1}{k_1 n_1}$$

n_1에 추가로, 또는 n_1 대신에, n_2에 대하여 동일한 계산을 실행하는 것은 당업자에게는 자명한 일이다.

전술한 본 발명의 바람직한 실시예에서의 본 발명의 근원적인 장점은 다음의 설명에 의해서 좀 더 명확하게 될 것이다. 상기 식에서 굴절률 n_1의 계산으로부터, 반송파 위상 Θ 및 수퍼헤테로다인 위상 Φ 의 요구되는 정확도는 반송파 파수 χ 및 수퍼헤테로다인 파수 K 의 값과 관련된다는 것이 명확하다. 변조 신호 M 의 주파수 F 는 반송파 신호 C 의 주파수 V 보다 훨씬 작을 수 있다는 점에서, 그리고 저주파수의 전자신호의 위상을 고분해능으로 계산하는 것이 일반적으로 바람직하기 때문에, 수퍼헤테로다인 변조 위상 Φ 의 고정밀도 측정에 의존한다는 것이 일반적으로 가장 큰 장점이다. 이것은, 파장 λ_1,λ_2가 수학식 (1) 에 도시된 것과 같이, 근사 고조파 관계에 있을 때, 본 발명의 장치를 쉽게 얻을 수 있다. 파장 λ_1,λ_2가 서로 정수배라는 제한된 경우에 대하여, 즉 $P1_1$, $P2_2$ = 1, 2, 3, ...,$P1_1 \neq P2_2$ 일 경우에

수학식 24

$$p_1\lambda_2 \approx p_2\lambda_1$$

에 대하여, 진공 수퍼헤테로다인 파수 K 는 0 이며, 다음 수학식에 나타낸 바와 같이, 굴절률 계산은 반송파 위상 Θ 를 전혀 포함하지 않는다.

수학식 25

$$n_1=1+\frac{A}{L}(\chi\Phi-Z)$$

(K=0 일 경우)

또한, K=0 일 경우에, 수퍼헤테로다인 변조 위상 Φ 는, 위상 천이 φ_1,φ_2 및 반송파 위상 Θ 에 강하게 의존하는 것에 비하여, 거리 L 에는 약하게 의존한다. 이것은, 마이크로리소그래피 장비에서 공통적으로 있게 되는, 이동하는 대상체에 대한 위상검출 정확도를 개선한다.

일반적으로는 간섭법, 특히 분산 기술에 대하여 중요하게 고려해야할 것은 소오스 파장의 불안정성이다. 본 발명의 장치 및 수단은 다음과 같이, 소오스 파장 불안정성에 대한 보상을 위해 편리한 방법을 제공한다. 수학식 (13) 에 의해서, 소오스 파장 불안정성에 기여하는 굴절률에서의 오차 δn 는

수학식 26

$$\delta n_1 \approx \chi A \delta K$$

에 의해서 주어지며, 여기서δK 는 진공 수퍼헤테로다인 파수 K 에서의 불안정성이다. 상기 식은 오차의 크기가 대상체 거리 L 에 실질적으로 무관하며, 대상체 거리 L 에 직접적으로 의존하는 위상 천이 φ_1,φ_2와 같은 모든 다른 변수들과도 실질적으로 무관하다. 그러므로, 실제 굴절률 변동과는 완전히 무관한 모니터 경로를 따르는 굴절률을 측정함으로서 파장 안정성의 효과를 보상할 수 있다. 임의의 측정된 변동값은 파장 불안정성의 결과이다.

도 4 를 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예를 보여주며, 소오스 파장 불안정성에 기여하는 굴절률 측정에서의 오차 δn_1 의 보상을 목적으로, 도 4 의 실시예에서는 도 1 의 실시예에 모니터 시스템 (60b) 을 추가하였다. 빔 스플릿터 (70) 및 미러 (71) 는 모니터 시스템 (60b) 을 향하여 빔 (13) 의 일부분을 반사한다. 모니터 시스템 (60b) 은, 간섭계 (60) 와 서로 유사한 동작을 실행하는 다수의 소자를 포함하며, 여기서, 상기 소자들은 모니터 시스템 (60b) 으로 언급될 때 첨자 'b' 를 제외하면 간섭계 (60) 와 동일한 도면부호로서 동일한 작동을 실행한다. 모니터 전자 처리 시스템 (98b) 은 전자 처리 시스템 (98) 과 동일한 동작을 실행한다. 간섭계 (60) 와 모니터 시스템 (60b) 사이의 차이점은 모니터 시스템 (60b) 의 모니터 경로 (66b) 가, 바람직하게는 모니터 경로 (66b) 를 봉쇄하고, 봉쇄된 체적내의 온도와 압력을 제어함으로서 달성되는, 주의깊게 제어된 굴절률을 갖는, 고정된 길이라는 것이다. 모니터 경로 (66b) 의 굴절률이 실질적으로 상수라는 점에서, 모니터 시스템의 어떠한 측정된 변동치δn_M는 소오스 파장 불안정성에 적용될 수 있다. 본 발명의 또 다른 실시예에 있어서, 컴퓨터 (99) 는 다음의 식에 따라 굴절률 n_1을 계산한다.

수학식 27

$$n_1 = 1 + \frac{A}{L}(K\vartheta - \chi\Phi - Q) - \delta n_M$$

본 발명의 바람직한 실시예의 보상기술은 소오스에 대한 파장 안정성의 요구사항을 크게 감소시킨다. 특히, 본 발명은 절대적인 파장 안정성을 요구하지 않으며, 모니터 경로 (66b) 는 매우 안정한 물리적 길이 (L) 를 가질 필요가 없다.

본 발명의 장점은 1) 본 발명은 공기의 굴절률의 변동을 정확하게 측정하고 그를 보상하여서, 거리 측정 간섭법에 유용하며, 2) 최근의 마이크로 리소그래피 장비에 통상적인 빠른 스테이지 이동에 적용될 수 있으며, 3) 선택적으로, 본 발명은 쉽게 통합될 수 있는 모니터 수단과 소오스 안정성 요구사항을 실질적으로 저감시키는 방법을 포함하며, 4) 본 발명의 장치는 실질적으로 복잡하지도 않으며, 종래기술과 비교하여 가격이 비싸지도 않다.

또 다른 데이터 처리가 본 발명의 정신과 영역으로부터 벗어나지 않는다면, 고려될 수 있다는 것은 자명한 일이며, 예컨대, 변환된 헤테로다인신호$\overline{s_1}$, $\overline{s_2}$를 가산하는 것 보다 전술한 제안처럼 다음식과 같이 곱셈하는 것이 유용하다고 할수도 있다.

수학식 28

$$S' = \overline{s_1}\,\overline{s_2}$$

위상 감도 검출 (phase sensitive detection) 의 사용을 통하여 $(s_1 + s_2)^{p+q}$의 이항 전개식의 적절한 항을 선택함으로써 대체의 신호 S' 가 생성될 수도 있다. 대체예의 신호 S' 는 주파수 F 및 ν를 갖는 두 개의 신호의 곱 보다는 합으로 구성될 수도 있다. 그런 처리 기술은 예를 들어 도 1 의 검출기 (45,46) 및 다이크로익 빔스플릿터 (80) 를 단일 검출기로 교환하는 것이 유용함을 발견한다면 유용함이 증명될 것이다.

대체의 추가 광학소자 및 전자처리 단계가 본 발명에 따른 장치의 설명된 실시예 중 하나에 포함될 수 있음은 자명할 것이다. 예를 들어, 추가의 검출기 및 관련된 소자가 추가되어, 데이터 처리에서 일어나는 각종 위상 오프셋을 측정 및 보상할 수도 있다. 이러한 또는 다른 명백한 변형예들은 본 발명의 개념과 범주를 벗어나지 않으면서 도입될 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 29.

측정 경로 (66) 에 있는 기체 굴절률의 변동을 측정하는 장치로서,

서로 다른 파장을 가지며 실질적으로 고조파 관계를 갖는, 그리고 각각 직교 편광 상태를 갖는, 두 개 이상의 광빔 (11, 12) 들의 소오스 (1, 4);

상기 광빔들 (11, 12) 각각의 상기 직교 편광 상태 사이에 주파수 차를 도입하는 수단 (2, 3, 5, 6);

상기 직교편광상태 간에 주파수 차를 갖는 상기 광빔들 (11, 12) 을 상기 측정경로 (66) 를 따라서 실질적으로 동일직선상의 단일광빔 (13) 으로 정렬하는 수단 (9);

상기 동일직선상으로 정렬된 광빔 (13) 으로부터, 상기 측정경로 (66) 의 물리적 길이와 상기 측정 경로 (66) 상의 상기 기체의 굴절률과의 곱에 비례하는 위상 천이 크기를 갖는 위상 천이된 빔 (15) 을 생성하는 수단 (66, 67);

두 개 이상의 혼합된 출력빔 (16, 17) 을 생성하기 위하여 상기 위상 천이된 빔들 (15) 각각의 상기 편광 성분을 혼합하는 수단 (44, 80);

상기 두 개 이상의 혼합된 출력빔 (16, 17) 의 강도로부터 헤테로다인 전기신호 (S_1, S_2) 를 생성하는 수단 (45, 46) 으로서, 상기 헤테로다인 전기신호는 상기 광빔들의 상기 편광상태 사이의 주파수차에 해당하는 헤테로다인 주파수의 진동을 포함하며, 상기 측정경로 (66) 의 상기 기체의 굴절률로 기인한 차이를 제외하면, 상기 서로 다른 파장간의 상기 고조파 관계에 실질적으로 역관계인 헤테로다인 위상을 포함하는 수단;

상기 둘 이상의 헤테로다인 전기신호 (S_1, S_2) 로부터 둘 이상의 변환된 헤테로다인 신호를 발생시키는 수단 (981) 으로, 상기 변환된 헤테로다인 신호는 상기 서로 다른 파장의 비에 따라 상기 헤테로다인 위상과 고조파 관계인 변환된 헤테로다인 위상과 변환된 헤테로다인 주파수를 포함하는 수단;

상기 변환된 헤테로다인 전기신호의 둘 이상으로부터 선택된 하나 이상의 쌍을 가산하여, 상기 변환된 헤테로다인 전기신호중 상기 선택된 쌍의 상기 변환된 헤테로다인 주파수 차의 1/2 과 실질적으로 동일한 수퍼헤테로다인 변조주파수 (F) 및 상기 선택된 쌍의 상기 헤테로다인 위상 차의 1/2 과 실질적으로 동일한 수퍼헤테로다인 변조위상을 갖는 수퍼헤테로다인 전기신호 (S) 를 생성시키는 수단 (982); 및

상기 측정 경로 (66) 상에서 상기 굴절률의 상기 변동을 결정하기 위하여 상기 수퍼헤테로다인 변조 위상을 분석하는 수단 (983, 985, 986, 987, 99) 을 포함하는 것을 특징으로 하는 측정 경로 내의 기체의 굴절률 변동 측정 장치.

청구항 30.

제 29 항에 있어서, 상기 광빔들 각각의 상기 주파수 차는 상기 광빔들 중 그 밖의 다른 광빔간의 주파수 차와 상이한 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 31.

제 29 항에 있어서, 상기 광빔을 정렬하는 상기 수단은 상기 광빔 모두를 상기 단일광빔으로 정렬하기 위한 광학수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 32.

제 29 항에 있어서, 상기 위상 천이된 빔을 생성하는 상기 수단은 상기 각 광빔들의 편광 상태 사이에 위상 천이를 도입하는 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 33.

제 32 항에 있어서, 상기 위상 천이된 빔을 생성하는 수단은 광학 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 34.

제 29 항에 있어서, 상기 위상 천이된 빔을 생성하는 수단은 광학수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 35.

제 29 항에 있어서, 상기 기체의 상기 굴절률들은 파장의 함수이며, 상기 위상 천이된 빔의 각각에 대하여 상이한 굴절률을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 36.

제 29 항에 있어서, 상기 편광 성분을 혼합하는 수단은 편광기를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 37.

제 29 항에 있어서, 상기 헤테로다인 전기 신호를 생성하는 수단은 광전 검출수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 38.

제 29 항에 있어서, 상기 변환된 헤테로다인 전기 신호중 두 개 이상의 신호로부터 선택된 하나 이상의 쌍을 가산하는 상기 수단은, 상기 수퍼헤테로다인 변조 주파수를 갖는 진폭 변조 반송파를 포함하는 상기 하나의 수퍼헤테로다인 전기 신호를 생성하기 위하여, 상기 변환된 헤테로다인 전기 신호중 임의의 두 개를 가산하는 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 39.

제 29 항에 있어서, 상기 소오스는 코히어런트 방사 소오스를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 40.

제 39 항에 있어서, 상기 소오스는 레이저를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 41.

제 29 항에 있어서, 상기 측정 경로가 간섭계의 측정 경로인 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 42.

제 29 항에 있어서, 상기 기체가 공기인 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 43.

제 29 항에 있어서, 상기 변환된 헤테로다인 신호를 생성하는 수단은 전자적인 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 44.

제 29 항에 있어서, 상기 소오스의 파장의 변동에 의해서 생성된 상기 수퍼헤테로다인 변조 위상에서의 오차를 보상하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 45.

제 44 항에 있어서, 상기 보상 수단은, 제어된 굴절률을 갖는 기체와 고정된 길이의 모니터 경로로 구성되는 측정경로를 갖는 간섭계 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 46.

제 45 항에 있어서, 상기 보상 수단은 모니터 헤테로다인 신호를 생성하는 수단을 더 포함하며, 상기 두 개 이상의 변환된 헤테로다인 신호 발생수단은 상기 모니터 헤테로다인 신호로부터 변환된 모니터 헤테로다인 신호를 생성하는 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 47.

제 46 항에 있어서, 상기 변환된 모니터 헤테로다인 신호를 생성하는 상기 수단은 전자적인 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 48.

제 46 항에 있어서, 상기 보상 수단은, 모니터 수퍼헤테로다인 변조 주파수를 갖는 진폭 변조 반송파를 포함하는 하나 이상의 모니터 수퍼헤테로다인 신호를 생성하기 위하여, 상기 변환된 모니터 헤테로다인 전기 신호 중 임의의 두 개를 가산하는 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 49.

제 41 항에 있어서, 상기 측정 경로가 대상체의 위치의 변화에 따라서 변화되도록 서로에 대하여 선택적인 이동을 하기 위하여, 상기 측정 경로의 적어도 일단부에 대상체를 장착하는 수단과, 상기 대상체가 이동할 때, 상기 기체의 상기 굴절률의 변동에 실질적으로 무관하게 상기 대상체의 위치를 측정하도록 상기 수퍼헤테로다인 변조 신호를 분석하는 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 50.

측정 경로에 있는 기체 굴절률의 변동을 측정하는 방법로서,

서로 다른 파장을 가지며 실질적으로 고조파 관계를 갖는, 그리고 각각 직교 편광 상태를 갖는, 두 개 이상의 광빔들을 생성하는 단계;

상기 광빔들 각각의 상기 직교 편광 상태 사이에 주파수 차를 도입하는 단계;

상기 직교편광상태 간에 주파수 차를 갖는 상기 광빔들을 상기 측정경로를 따라서 실질적으로 동일직선상의 단일 광빔으로 정렬하는 단계;

상기 측정경로의 물리적 길이와 상기 측정 경로상의 상기 기체의 굴절률과의 곱에 비례하는 위상 천이 크기를 갖는 위상 천이된 빔을 생성하는 단계;

두 개 이상의 혼합된 출력빔을 생성하기 위하여 상기 위상 천이된 빔들 각각의 상기 편광 성분을 혼합하는 단계;

상기 두 개 이상의 혼합된 출력빔의 강도로부터 헤테로다인 전기신호를 생성하는 단계로서, 상기 헤테로다인 전기신호는 상기 광빔들의 상기 편광상태 사이의 주파수차에 해당하는 헤테로다인 주파수의 진동을 포함하며, 상기 측정경로의 상기 기체의 굴절률로 기인한 차이를 제외하면, 상기 서로 다른 파장간의 상기 고조파 관계에 실질적으로 역관계인 헤테로다인 위상을 포함하는 단계;

상기 둘 이상의 헤테로다인 전기신호로부터 둘 이상의 변환된 헤테로다인 신호를 발생시키는 단계로서, 상기 변환된 헤테로다인 신호는 상기 서로 다른 파장의 비에 따라 상기 헤테로다인 위상과 고조파 관계인 변환된 헤테로다인 위상과 변환된 헤테로다인 주파수를 포함하는 단계;

상기 변환된 헤테로다인 전기신호의 둘 이상으로부터 선택된 하나 이상의 쌍을 가산하여, 상기 변환된 헤테로다인 전기신호중 상기 선택된 쌍의 상기 변환된 헤테로다인 주파수 차의 1/2 과 실질적으로 동일한 수퍼헤테로다인 변조주파수 및 상기 선택된 쌍의 상기 헤테로다인 위상 차의 1/2 과 실질적으로 동일한 수퍼헤테로다인 변조위상을 갖는 수퍼헤테로다인 전기신호를 생성시키는 단계; 및

상기 측정 경로상에서 상기 굴절률의 상기 변동을 결정하기 위하여 상기 수퍼헤테로다인 변조 위상을 분석하는 단계 (983, 985, 986, 987, 99) 를 포함하는 것을 특징으로 하는 측정 경로 내의 기체의 굴절률 변동 측정 방법.

청구항 51.

제 50 항에 있어서, 상기 광빔의 각각의 상기 주파수 차는 상기 광빔들 중 그 밖의 주파수차와 상이한 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 52.

제 50 항에 있어서, 상기 기체가 공기인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 53.

제 50 항에 있어서, 상기 측정 경로는 상기 측정 경로를 따라 이동할 수 있는 스테이지를 갖는 간섭계 내에 측정 경로를 포함하며, 상기 수퍼헤테로다인 변조 위상 제공 단계는 상기 측정 경로에서의 스테이지 이동에 실질적으로 민감하지 않는 상기 수퍼헤테로다인 변조 위상을 제공하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 54.

제 50 항에 있어서, 상기 굴절률(n) 의 상기 변동과는 무관하게 상기 측정 경로를 따라서 거리 L 을 결정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 55.

제 50 항에 있어서, 상기 거리 결정 단계는 다음의 식에 따라서 상기 거리 (L) 을 결정하는 단계를 더 포함하며,

$$L = \frac{\varphi_1 - \zeta_1}{k_1 n_1}$$

여기서φ_1는 위상천이 크기, k_1은 위상천이의 파수, n은 반사율 및 ζ_1은 위상 오프셋이며, 상기 위상 오프셋은 측정 경로와 관계되지 않는 위상천이φ_1에 기여하는 모든 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 56.

제 50 항에 있어서, 상기 소오스 광빔을 제공하는 단계는, 직교 편광 상태들 사이에 주파수 차를 갖는 직교 편광 상태들을 갖는 소오스 광빔을 제공하는 단계를 포함하며,

상기 제공된 소오스 파장을 기초로하여 변환된 헤테로다인 위상천이를 제공하는 상기 단계는, 상기 소오스 광빔들의 편광 상태들 사이에 주파수 차와 관련된 헤테로다인 주파수에서 진동을 포함하는 헤테로다인 전기 신호를 생성하는 단계와, 상기 변환된 헤테로다인 위상천이를 포함하는 상기 헤테로다인 전기 신호로부터 변환된 헤테로다인 신호를 발생시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 57.

제 56 항에 있어서, 상기 변환된 헤테로다인 신호를 발생시키는 단계는, 상기 변환된 헤테로다인 신호를 전자적으로 발생시키는 단계를 포함하며,

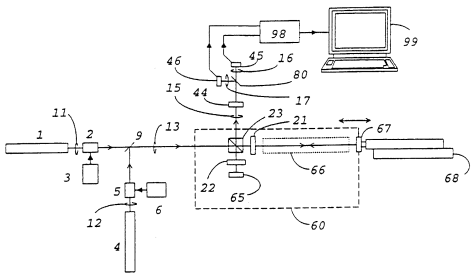
상기 방법은 상기 수퍼헤테로다인 변조 위상을 포함하는 수퍼헤테로다인 신호를 생성하기 위하여 상기 변환된 헤테로다인 신호를 전자적으로 가산하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 58.

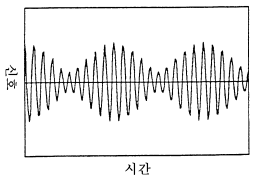
제 50 항에 있어서, 소오스 파장에서의 변동에 의해서 생성된 상기 수퍼헤테로다인 변조 위상에서의 오차를 보상하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

도면

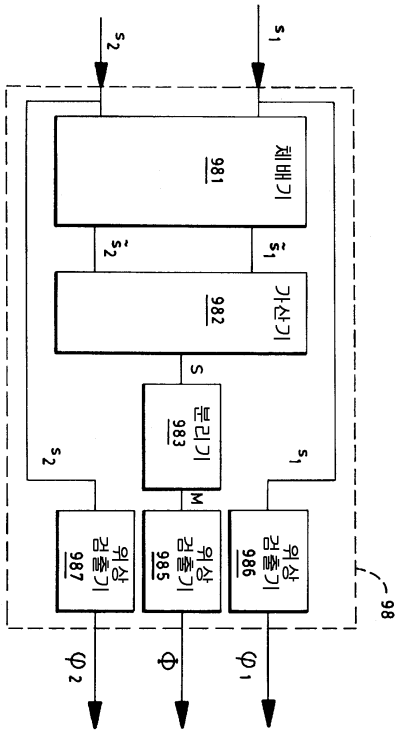
도면 1



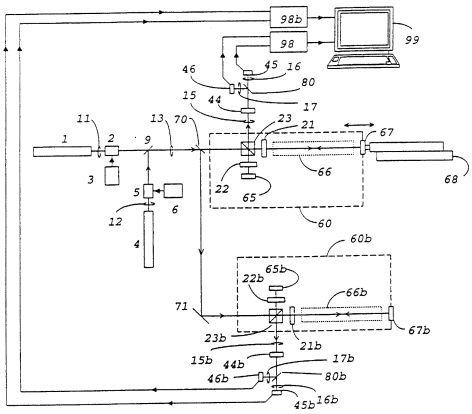
도면 2



도면 3


S2
S1
체배기
981
S2'
S1'
가산기
982
S
블리기
983
M
유상
검출기
987
유상
검출기
985
유상
검출기
986
98
φ2
Φ
φ1

도면 4


98b
98
99
46
45
16
80
15
44
17
11
13
70
23
21
67
1
2
9
3
5
6
12
4
22
65
66
68
60
60b
65b
22b
66b
71
67b
23b
21b
15b
44b
17b
46b
80b
45b
16b