(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0031642
(43) 공개일자 2017년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 3/28 (2006.01) *G02B 27/28* (2006.01)
G02B 5/30 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01J 3/2889 (2013.01)
G02B 27/283 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0117279
(22) 출원일자 2016년09월12일
심사청구일자 2016년09월12일
(30) 우선권주장
62/217,245 2015년09월11일 미국(US)

(71) 출원인
전북대학교산학협력단
전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (덕진동1가)
보드 오브 리전츠, 더 유니버시티 오브 텍사스 시스템
미국 텍사스주 78701 오스틴 웨스트 7번 스트리트 201
(72) 발명자
김대석
전라북도 전주시 덕진구 호성로 136, 209-902
마그누손, 로버트
미국 텍사스주 76006 알링턴 3010 피트킨 드라이브
(74) 대리인
특허법인(유)화우

전체 청구항 수 : 총 18 항

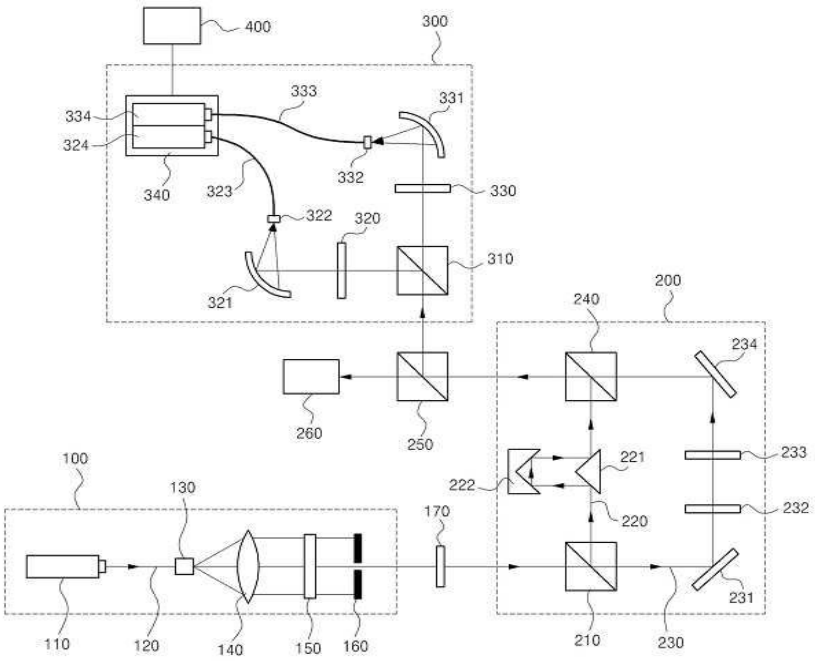
(54) 발명의 명칭 **고속분광편광 측정장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명에 따른 고속분광편광 측정장치는, 광대역 백색광을 평행광으로 변환시키고, 상기 평행광의 크기를 조절하여 측정물을 향하여 평행광을 조사하는 평행광 모듈; 상기 측정물을 투과한 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 상태를 변조시키고, 직행

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 편광 변조 모듈; 상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 듀얼 분광기로 연결하여 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 스펙트럼 감지 모듈; 상기 듀얼 스펙트럼 감지 모듈이 측정한 스냅샷의 측정값을 기초로 하여 분광 정보를 갖는 스토크스 벡터를 계산하는 컴퓨터 장치; 를 포함할 수 있으며, 스냅샷 방식으로 측정함으로써 기존 발명과 대비하여 수십 배 이상의 고속측정이 가능하여 다이나믹한 측정이 필요한 반도체나 디스플레이 생산공정 인라인 모니터링 분야에 큰 효과를 가져올 수 있다.

또한, 본 발명의 고속분광편광 측정장치의 구성을 변형함으로써, 고속분광 타원계측기 및 고속분광 반사계측기의 구성도 도출해낼 수 있다.

(52) CPC특허분류
G02B 5/3033 (2013.01)
G01J 2003/283 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

광대역 백색광을 평행광으로 변환시키고, 상기 평행광의 크기를 조절하여 측정물을 향하여 평행광을 조사하는 평행광 모듈;

상기 측정물을 투과한 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 상태를 변조시키고, 직행 경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 편광 변조 모듈; 및

상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 듀얼 분광기로 연결하여 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 스펙트럼 감지 모듈을 포함하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 듀얼 스펙트럼 감지 모듈이 측정한 스냅샷의 측정값을 기초로 하여 스토크스 벡터를 계산하는 컴퓨터 장치;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 평행광 모듈은,

광대역 백색광을 조사하는 백색광원;

상기 백색광원에서 조사된 상기 백색광을 제1 광섬유 주입구까지 연결하는 제1 광섬유;

상기 백색광을 평행광 렌즈로 조사하는 제1 광섬유 주입구;

상기 조사된 백색광을 평행광으로 변환시키는 평행광 렌즈; 및

상기 평행광의 크기를 조절하고, 평행광을 측정 시료에 조사하는 조리개를 포함하는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 평행광 렌즈로부터 입사된 평행광을 선형 편광시키는 선형 편광자;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 5

제 3항에 있어서,

상기 백색광원은, 텅스텐-할로겐 램프, 제논램프, 및 백색 LED 램프 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 6

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 편광 변조 모듈은,

측정물을 통과하고 상기 평행광 모듈로부터 입사되는 평행광의 광 경로를 직행경로와 변조경로로 나누는 제1 빔 스플리터;

상기 제1 빔 스플리터에 의해 직행 경로로 나뉘어진 평행광이 입사되고, 제2 프리즘 거울로 평행광을 입사하고, 제2 프리즘 거울에서 반사된 평행광을 제2 빔 스플리터로 입사하는 제1 프리즘 거울;

상기 제1 프리즘 거울로부터 입사된 평행광을 반사하여 다시 제1 프리즘 거울로 입사하는 제2 프리즘 거울;

상기 제1 빔 스플리터에 의해 변조 경로로 나뉘어진 평행광이 입사되고, 입사된 평행광을 제1 편광자로 반사하는 제1 거울;

상기 제1 거울로부터 반사된 평행광의 편광 방향을 변화시키고, 제2 편광자로 평행광을 입사하는 제1 편광자;

상기 제1 편광자로부터 입사된 평행광의 편광 방향을 변화시키고, 제2 거울로 평행광을 입사하는 제2 편광자;

상기 제2 편광자로부터 입사된 평행광을 제2 빔 스플리터로 반사하는 제2 거울; 및

상기 제1 프리즘 거울로부터 반사된 직행 경로의 평행광과, 상기 제2 거울로부터 반사된 변조 경로의 평행광을 수광하고, 직행 경로의 평행광과 변조 경로의 평행광이 간섭된 평행광을 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 제2 빔 스플리터를 포함하는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 7

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 편광 변조 모듈은,

측정물을 통과하고 상기 평행광 모듈로부터 입사되는 평행광의 광 경로를 직행경로와 변조경로로 나누며 다시 모인 평행광으로 간섭을 발생시키는 빔 스플리터;

상기 빔 스플리터에서 입사된 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 상태를 변조시키는 제 1, 제 2 편광자;

편광자를 통과한 평행광을 다시 빔 스플리터로 반사시키는 변조경로의 반사거울;

상기 직행 경로로 나누어진 평행광을 광경로 보상 시키는 원도우; 및

원도우를 통과한 평행광을 다시 빔 스플리터로 반사시키는 직행경로의 반사거울를 포함하는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 8

제 6항에 있어서,

상기 제2 프리즘 거울은, 위치의 조정이 가능하여 평행광의 직행경로와 변조경로의 광로차를 조절하는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 9

제 6항에 있어서,

상기 제1 편광자의 선형편광 방향은 90도 또는 0도, 상기 제2 편광자의 선형편광 방향은 45도인 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 10

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 듀얼 스펙트럼 감지 모듈은,

상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 분리하여 제3 편광자와 제4 편광자로 조사하는 제4 빔 스플리터;

상기 제4 빔 스플리터로부터 입사된 평행광을 s선형 편광상태로 편광시키고, 제1 포물면 거울로 조사하는 제3 편광자;

상기 제3 편광자로부터 입사된 평행광을 포물면 초점으로 집광하여 제1 분광기 광섬유 주입구로 조사하는 제1 포물면 거울;

상기 제1 포물면 거울로부터 입사된 평행광을 듀얼분광기로 연결하는 제1 분광기 광섬유;

상기 제4 빔 스플리터로부터 입사된 평행광을 p선형 편광상태로 편광시키고, 제2 포물면 거울로 조사하는 제4 편광자;

상기 제4 편광자로부터 입사된 평행광을 포물면 초점으로 집광하여 제2 분광기 광섬유 주입구로 조사하는 제2 포물면 거울;

상기 제2 포물면 거울로부터 입사된 평행광을 듀얼분광기로 연결하는 제2 분광기 광섬유; 및

상기 제1 분광기 광섬유 및 상기 제2 분광기 광섬유로부터 각각 전송되는 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 분광기를 포함하는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 듀얼 분광기는,

s채널 간섭스펙트럼 및 p채널 간섭스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 s 편광채널 및 p 편광채널;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정장치.

청구항 12

고속분광편광 측정장치가 고속분광편광 측정하는 방법에 있어서,

(a) 광대역 백색광을 평행광으로 변환하고, 평행광의 크기를 조절하는 단계;

(b) 측정물을 향하여 평행광을 조사하는 단계;

(c) 측정물을 투과한 평행광이 빔 스플리터에 의해 직행 경로와 변조 경로로 나뉘는 단계;

(d) 변조경로의 평행광이 편광자에 의해 편광되는 단계;

(e) 직행경로와 변조경로의 평행광을 수광하고, 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 단계;

(f) 빔 스플리터로 평행광을 분리하고, 분리된 평행광을 편광하는 단계; 및

(g) 듀얼 분광기에서 간섭 스펙트럼의 스냅샷을 측정하는 단계를 포함하는 고속분광편광 측정방법.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 (a) 단계는,

백색광을 평행광으로 변환 후 선형 편광시키는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정방법.

청구항 14

제 12항에 있어서,

상기 (d) 단계는,

변조경로의 평행광을 제1 편광자, 제2 편광자로 편광하고, 제1 편광자의 선형편광 방향은 90도 또는 0도, 제2 편광자의 선형편광 방향은 45도인 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정방법.

청구항 15

제 12항에 있어서,

상기 (f) 단계는,

분광된 평행광을 각각 p선형 편광상태와 s선형 편광상태로 편광시키는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정방법.

청구항 16

제 12항에 있어서,

(h) 컴퓨터 장치가 상기 듀얼 스펙트럼 감지 모듈이 측정한 스냅샷의 측정값을 기초로 하여 스토크스 벡터를 계산하는 단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고속분광편광 측정방법.

청구항 17

광대역 백색광을 평행광으로 변환시키고, 상기 평행광의 크기를 조절하여 측정물을 향하여 평행광을 조사하는 평행광 모듈;

상기 측정물에서 반사된 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 방향을 변화시키고, 직행 경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 편광 변조 모듈; 및

상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 듀얼 분광기로 연결하여 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 스펙트럼 감지 모듈을 포함하는 고속분광타원계측기.

청구항 18

광대역 백색광을 평행광으로 변환시키고, 상기 평행광의 크기를 조절하여 빔 스플리터를 향하여 평행광을 조사하는 평행광 모듈;

상기 평행광 모듈로부터 입사된 평행광을 반사형 측정물로 조사하고, 반사형 측정물이 반사하는 평행광을 재투

과하여 편광 변조 모듈로 조사하는 빔 스플리터;

상기 빔 스플리터에서 입사된 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 방향을 변화시키고, 직행 경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 편광 변조 모듈; 및

상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 듀얼 분광기로 연결하여 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 스펙트럼 감지 모듈을 포함하는 고속분광반사계측기.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 고속분광편광 측정장치 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 광대역 백색광을 평행광으로 변환시키고, 평행광의 크기를 조절하여 측정물을 향하여 평행광을 조사하는 평행광 모듈과, 측정물을 투과한 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 상태를 변조시키고, 직행 경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 편광 변조 모듈과, 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 듀얼 분광기로 연결하여 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 스펙트럼 감지 모듈을 포함하는 고속분광편광 측정장치 및 측정장치가 수행하는 방법에 관한 것이다.

[0002] 본 발명의 고속분광편광 측정장치는, 스펙트럼 영역에서 계산될 수 있는 투과형 이방성 시료의 분광편광 수치를 추출하여, 스토크스(Stokes) 벡터를 계산할 수 있다. 또한, 스냅 샷 방식을 통해서, 높은 정밀도로 수 ms 이내에서 투과형 이방성 시료의 분광편광 스토크스 벡터를 추출할 수 있다.

배 경 기 술

[0004] 분광 스펙트럼 측정 기술은, 여러 분야에서 가장 정확하고 기대되는 해결방법 중에 하나로 손꼽히고 있다. 이러한 간섭계를 통한 편광 측정 기술을 조합하기 위하여, 지난 40년동안 SD PS-OCT, SPR, CD와 같은 수많은 시도들이 수행되고 있었으며, 전형적인 분광 편광 측정방법은, 스토크스 벡터를 유도할 수 있는 분광타원측정기의 측정값으로부터 도출해 낼 수 있었고, 최근에는 스펙트럼 간섭기와 스캐닝 방법을 대체하기 위하여, 복굴절 결정이나 듀얼 스펙트럼 감지 모듈을 간섭계와 조합한 스펙트럼 접근방식이 제안되었다.

[0005] 그러나, 현재 구현되는 PEM(photoelastic modulation) 방식을 이용한 기술은 정밀 측정능력을 갖추고 있으나, 단파장의 스토크스 벡터를 측정하는 경우 10ms, 스펙트럼 전 영역의 스토크스 벡터를 구하기 위해서는 수 초 이상이 소요됨으로써, 측정 속도 면에서 단점을 가지고 있다.

[0006] 또한, 복굴절(birefringence) 소자 기반의 스토크스 편광계 기술에 대한 연구 및 상용화 노력이 진행되고 있지만, 복잡한 스펙트럼을 통해서 스토크스 벡터를 구하기 때문에 분광, 분해능의 한계를 가지게 되며, 특수 제작된 thick wave plate 기술에 의존하고 있기 때문에 구현상의 단점을 가지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 전술한 문제점을 해결함과 더불어 요구사항에 부응하기 위한 본 발명의 목적은, 스냅샷(snapshot) 방식으로 측정물의 분광편광정보를 표현하는 스토크스 벡터를 고속으로 측정하는 고속분광편광 측정장치 및 방법을 제공함에 있다.

[0009] 또한, 고속분광편광 측정장치의 측정물의 위치에 투과형 필름 시료 또는 주기나노 패턴으로 이루어진 반사형 시료를 두고, 스냅샷 방식으로 평행광 모듈, 편광 변조 모듈, 듀얼 스펙트럼 감지 모듈의 위치를 변형하여 이방성

(anisotropy) 및 편광변화정보를 실시간으로 측정할 수 있는 고속분광 타원계측기(spectroscopic ellipsometer) 또는 고속분광 반사계측기(spectroscopic reflectometer)를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 고속분광편광 측정장치는, 광대역 백색광을 평행광으로 변환시키고, 상기 평행광의 크기를 조절하여 측정물을 향하여 평행광을 조사하는 평행광 모듈; 상기 측정물을 투과한 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 상태를 변조시키고, 직행 경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 편광 변조 모듈; 상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 듀얼 분광기로 연결하여 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 스펙트럼 감지 모듈; 상기 듀얼 스펙트럼 감지 모듈이 측정한 스냅샷의 측정값을 기초로 하여 스토크스 벡터를 계산하는 컴퓨터 장치; 를 포함할 수 있다.

[0011] 그리고, 상기 평행광 모듈은, 광대역 백색광을 조사하는 백색광원; 상기 백색광원에서 조사된 상기 백색광을 제1 광섬유 주입구까지 연결하는 제1 광섬유; 상기 백색광을 평행광 렌즈로 조사하는 제1 광섬유 주입구; 상기 조사된 백색광을 평행광으로 변환시키는 평행광 렌즈; 상기 평행광 렌즈로부터 입사된 평행광을 선형 편광시키는 선형 편광자; 상기 평행광의 크기를 조절하고, 평행광을 측정 시료에 조사하는 조리개; 를 포함할 수 있다.

[0012] 또한, 상기 백색광원은, 텅스텐-할로겐 램프, 제논 램프, 및 백색 LED 램프 중 어느 하나인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 편광 변조 모듈은, 측정물을 통과하고 상기 평행광 모듈로부터 입사되는 평행광의 광 경로를 직행경로와 변조경로로 나누는 제1 빔 스플리터; 상기 제1 빔 스플리터에 의해 직행 경로로 나뉘어진 평행광이 입사되고, 제2 프리즘 거울로 평행광을 입사하고, 제2 프리즘 거울에서 반사된 평행광을 제2 빔 스플리터로 입사하는 제1 프리즘 거울; 상기 제1 프리즘 거울로부터 입사된 평행광을 반사하여 다시 제1 프리즘 거울로 입사하는 제2 프리즘 거울; 상기 제1 빔 스플리터에 의해 변조 경로로 나뉘어진 평행광이 입사되고, 입사된 평행광을 제1 편광자로 반사하는 제1 거울; 상기 제1 거울로부터 반사된 평행광의 편광 방향을 변화시키고, 제2 편광자로 평행광을 입사하는 제1 편광자; 상기 제1 편광자로부터 입사된 평행광의 편광 방향을 변화시키고, 제2 거울로 평행광을 입사하는 제2 편광자; 상기 제2 편광자로부터 입사된 평행광을 제2 빔 스플리터로 반사하는 제2 거울; 상기 제1 프리즘 거울로부터 반사된 직행 경로의 평행광과, 상기 제2 거울로부터 반사된 변조 경로의 평행광을 수광하고, 직행 경로의 평행광과 변조 경로의 평행광이 간섭된 평행광을 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 제2 빔 스플리터; 를 포함할 수 있다.

[0014] 그리고, 상기 편광 변조 모듈의 제2 프리즘 거울은, 위치의 조정이 가능하여 평행광의 직행경로와 변조경로의 광로차를 조절할 수 있으며, 제1 편광자의 선형편광 방향은 90도 또는 0도, 제2 편광자의 선형편광 방향은 45도인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 듀얼 스펙트럼 감지 모듈은, 상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 분리하여 제3 편광자와 제4 편광자로 조사하는 제4 빔 스플리터; 상기 제4 빔 스플리터로부터 입사된 평행광을 s선형 편광상태로 편광시키고, 제1 포물면 거울로 조사하는 제3 편광자; 상기 제3 편광자로부터 입사된 평행광을 포물면 초점으로 집광하여 제1 분광기 광섬유 주입구로 조사하는 제1 포물면 거울; 상기 제1 포물면 거울로부터 입사된 평행광을 듀얼분광기로 연결하는 제1 분광기 광섬유; 상기 제4 빔 스플리터로부터 입사된 평행광을 p선형 편광상태로 편광시키고, 제2 포물면 거울로 조사하는 제4 편광자; 상기 제4 편광자로부터 입사된 평행광을 포물면 초점으로 집광하여 제2 분광기 광섬유 주입구로 조사하는 제2 포물면 거울; 상기 제2 포물면 거울로부터 입사된 평행광을 듀얼분광기로 연결하는 제2 분광기 광섬유; 상기 제1 분광기 광섬유 및 상기 제2 분광기 광섬유로부터 각각 전송되는 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 분광기; 를 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 듀얼 분광기는, s채널 간섭스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 S편광채널; p채널 간섭스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 P편광채널; 을 포함할 수 있다.

[0017] 한편, 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 고속분광편광 측정방법은, (a) 광대역 백색광을 평행광으로 변환하고, 평행광의 크기를 조절하는 단계; (b) 측정물을 향하여 평행광을 조사하는 단계; (c) 측정물을 투과한 평행광이 빔 스플리터에 의해 직행 경로와 변조 경로로 나뉘는 단계; (d) 변조경로의 진행광이 편광자에 의해 편광 변조되는 단계; (e) 직행경로와 변조경로의 평행광을 수광하고, 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 단계; (f) 빔 스플리터로 평행광을 분리하고, 분리된 평행광을 선형 편광화하는 단계; (g) 듀얼 분광기에서 간

섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 단계; (h) 컴퓨터 장치가 상기 듀얼 스펙트럼 감지 모듈이 측정한 스냅샷의 측정값을 기초로 하여 스토크스 벡터를 계산하는 단계; 를 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 (a) 단계는, 백색광을 평행광으로 변환 후 선형 편광시키는 것을 특징으로 할 수 있고, 상기 (d) 단계는, 변조경로의 평행광을 제1 편광자, 제2 편광자로 편광하고, 제1 편광자의 선형편광 방향은 90도 또는 0도, 제2 편광자의 선형편광 방향은 45도인 것을 특징으로 할 수 있고, 상기 (f) 단계는, 분리된 평행광을 각각 p선형 편광상태와 s선형 편광상태로 편광시킬 수 있다.

[0019] 한편, 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 고속분광타원계측기는, 광대역 백색광을 평행광으로 변환시키고, 상기 평행광의 크기를 조절하여 측정물을 향하여 경사각을 갖고 평행광을 조사하는 평행광 모듈; 반사 측정물에서 반사된 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 방향을 변화시키고, 직행 경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 편광 변조 모듈; 상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 듀얼 분광기로 연결하여 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 스펙트럼 감지 모듈; 을 포함할 수 있다.

[0020] 한편, 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 고속분광반사계측기는, 광대역 백색광을 평행광으로 변환시키고, 상기 평행광의 크기를 조절하여 빔 스플리터를 향하여 평행광을 조사하는 평행광 모듈; 상기 평행광 모듈로부터 입사된 평행광을 반사형 측정물로 수직으로 조사하고, 반사형 측정물이 반사하는 평행광을 재투과하여 편광 변조 모듈로 조사하는 빔 스플리터; 상기 빔 스플리터에서 입사된 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 방향을 변화시키고, 직행 경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 편광 변조 모듈; 상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 듀얼 분광기로 연결하여 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 스펙트럼 감지 모듈; 을 포함할 수 있다.

[0021] 한편, 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 고속분광투과계측기는, 광대역 백색광을 평행광으로 변환시키고, 상기 평행광의 크기를 조절하여 빔 스플리터를 향하여 평행광을 조사하는 평행광 모듈; 상기 평행광 모듈로부터 입사된 평행광을 투과형 측정물로 조사하고, 투과형 측정물을 통해 투과된 평행광을 편광 변조 모듈로 조사하는 빔 스플리터; 상기 빔 스플리터에서 입사된 평행광의 광경로를 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 변조 경로로 나뉘어진 평행광을 편광자를 통하여 편광 상태를 변조시키고, 다시 동일 빔 스플리터로 반사시키는 평면반사거울; 직행 경로로 나누어진 평행광을 윈도우를 통해서 광경로 보상 후 다시 동일 빔 스플리터로 반사시키는 평면반사거울; 직행 경로와 변조 경로를 거친 평행광이 서로 만나서 간섭신호를 발생시키는 편광변조 모듈을 포함하는 마이켈슨 타입의 편광 변조 모듈; 상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 듀얼 분광기로 연결하여 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하는 듀얼 스펙트럼 감지 모듈; 을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 의하면, 스냅샷(snapshot) 방식으로 측정물의 분광편광정보를 측정하기 위해 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 2개의 간섭분광 데이터를 스냅샷 방식으로 동시에 고속으로 측정할 수 있고, 측정된 간섭분광 데이터를 기초로 하여 다파장 정보를 갖는 스토크스 벡터를 실시간으로 측정할 수 있다.

[0024] 기존의 스토크스 편광기는 측정 속도 측면에서 단점을 가지며, 본 발명은 기존 기술 대비하여 수십 배의 고속측정이 가능하다.

[0025] 따라서, 본 발명으로 인해 매우 폭넓은 광측정기술 산업의 핵심근간 기술로써, 기존 측정기술의 패러다임 변화를 통한 기술 혁신 및 신규시장을 창출할 수 있는 차별화된 구성을 가질 수 있다.

[0026] 또한, 기존의 접근법은 일반적인 마이켈슨 간섭계 구조의 경로 중 반사형 측정시료가 위치하는 방식이었으며, 이 방식은 스토크스 벡터를 측정하는 경우 복잡한 보정방법을 적용해야 했으며, 측정시료의 3차원적인 기울임 상황에 의해 측정결과가 영향을 받는 문제가 존재하였는 바, 본 발명을 통하여 측정하고자 하는 시료를 투과하거나 반사한 평행광이 간섭계에 들어가는 구조로 측정물의 기울임 및 위치 변화 등에 영향을 받지 않는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정장치의 구성을 개략적으로 나타낸 구성도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정장치의 구성을 나타낸 구성도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정장치의 듀얼분광기에서 측정되는 s편광채널과 p편광채널의 스펙트럼 신호를 나타내는 그래프이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정장치의 듀얼분광기에서 측정된 스펙트럼 신호를 컴퓨터 장치로 분석한 분광영역의 스토크스 벡터를 나타내는 그래프이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따라 수색성의 1/4파장 위상지연판(Achromatic Quarter Wave Plate)를 회전하면서 실시간으로 측정한 분광영역 스토크스 벡터 중 $S_3(k)$의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정방법을 설명하기 위한 전체 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광 타원계측기의 구성을 개략적으로 나타낸 구성도이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광 타원계측기의 구성을 나타낸 구성도이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 고속분광 반사계측기의 구성을 개략적으로 나타낸 구성도이다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광 반사계측기의 구성을 나타낸 구성도이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 마이켈슨(Michelson) 타입의 편광변조 모듈을 적용한 고속분광편광 측정장치의 구성을 나타낸 구성도이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따른 마이켈슨 타입의 편광변조 모듈을 적용한 고속분광편광 측정장치로 측정된 분광영역의 스토크스 벡터를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명의 목적과 기술적 구성 및 그에 따른 작용 효과에 관한 자세한 사항은 본 발명의 명세서에 첨부된 도면에 의거한 이하 상세한 설명에 의해 보다 명확하게 이해될 것이다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예를 설명한다.

[0029] 한편, 본 명세서에서 기재되는 스냅샷은, 이미지 센서 등에 의해 획득되는 정지 영상을 의미할 수 있다.

[0031] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정장치의 구성을 개략적으로 나타낸 구성도이다.

[0032] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 고속분광편광 측정장치는, 평행광 모듈 (Beam collimation module;100), 편광변조 모듈 (interferometric polarization modulation module; 200), 듀얼 스펙트럼 감지 모듈 (Dual spectrum sensing module; 300), 컴퓨터 장치 (Computer Device; 400)를 포함한다.

[0033] 평행광 모듈(100)은, 백색광원에서 조사된 광대역 백색광을 평행광 렌즈를 통해 평행광으로 변환시키고, 평행광을 선형 편광자에 투과시켜 선형 편광시키고, 조리개를 통해 상기 평행광의 크기를 조절하여 측정물을 향해 평행광을 조사한다.

[0034] 편광 변조 모듈(200)은, 측정물을 투과한 평행광의 광경로를 제1 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 직행 경로를 통과하는 평행광은 제1, 2 프리즘 거울을 통하여 제2 빔 스플리터로 들어가고, 변조 경로를 통과하는 평행광은 제1, 2 편광자를 통하여 편광 상태를 변조시킨 후 제2 빔 스플리터로 들어가며, 제2 빔 스플리터에서 직행 경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 간섭된 평행광을 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사한다.

[0035] 듀얼 스펙트럼 감지 모듈(300)은, 상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 제3 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 제3, 4 편광자를 투과하도록 하여 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 각각 제1, 2 포물면 거울을 통해 집광하여 제1, 2 분광기 광섬유를 통하여 듀얼 분광기로 연결하고, 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정하고, 그 측정값을 그래프로 도시한다.

[0036] 컴퓨터 장치(400)는, 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 스냅샷으로 측정한 측정값을 기초로 하여 스토크스 벡터를 계산하고, 그 계산값에 대한 그래프를 도시한다.

[0038] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정장치의 구성을 나타낸 구성도이다.

[0039] 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 고속분광편광 측정장치는, 평행광 모듈 (Beam collimation module;100), 편광 변조 모듈 (interferometric polarization modulation module; 200), 듀얼 스펙트럼 감지 모듈 (Dual spectrum sensing module; 300), 컴퓨터 장치 (Computer Device; 400)를 포함한다.

[0040] 또한, 본 발명에 따른 평행광 모듈(100)은, 백색광원 (white light source; 100), 제1 광섬유 (light source fiber 1; 120), 제1 광섬유 주입구 (light source fiber inlet 1; 130), 평행광 렌즈 (collimating lens; 140), 선형 편광자 (linear polarizer; 150), 조리개 (iris; 160)를 포함할 수 있다.

[0041] 또한, 본 발명에 따른 편광 변조 모듈(200)은, 제1 빔 스플리터 (beam splitter 1; 210), 제1 프리즘 거울 (prism mirror 1; 221), 제2 프리즘 거울 (prism mirror 2; 222), 제1 거울 (mirror 1; 231), 제1 편광자 (polarizer 1; 232), 제2 편광자 (polarizer 2; 233), 제2 거울 (mirror 2; 234), 제2 빔 스플리터 (beam splitter 2; 240)를 포함할 수 있다.

[0042] 또한, 본 발명에 따른 듀얼 스펙트럼 감지 모듈(300)은, 제4 빔 스플리터 (beam splitter 4; 310), 제3 편광자 (polarizer 3; 320), 제1 포물면 거울 (parabolic mirror 1; 321), 제1 분광기 광섬유 주입구 (spectrometer fiber inlet 1; 322), 제1 분광기 광섬유 (spectrometer fiber 1; 323), S편광채널 (s-channel; 324), 제4 편광자 (polarizer 4; 330), 제2 포물면 거울 (parabolic mirror 2; 331), 제2 분광기 광섬유 주입구 (spectrometer fiber inlet 2; 332), 제2 분광기 광섬유 (spectrometer fiber 2; 333), P편광채널 (p-channel; 334), 듀얼 분광기 (dual spectrometer; 340)를 포함할 수 있다.

[0044] 평행광 모듈(100)은, 백색광원에서 조사된 광대역 백색광(broadband light)을 평행광 렌즈를 통해 평행광으로 변환시키고, 평행광을 선형 편광자에 투과시켜 선형 편광시키고, 조리개를 통해 상기 평행광의 크기를 조절하여 측정물을 향해 평행광을 조사한다.

[0045] 백색광원에서 나오는 광대역 백색광은, 제1 광섬유를 통하여 제1 광섬유 주입구로 연결되며, 제1 광섬유 주입구의 끝단에서 퍼지는 백색광은, 평행광 렌즈를 통과함으로써 평행광으로 변환된다. 이후, 조리개를 통하여 평행광의 크기를 조절하고, 측정물에 투과되는 적절한 정도로 조절할 수 있다. 적절한 크기로 조절된 평행광은 측정하고자 하는 이방성을 갖는 투과형 측정 시료(transmissive anisotropic object; 170; 이하 '측정물'로 기재)를 통과하여 편광 변조 모듈로 진행한다.

[0046] 선형 편광자는 평행광을 선형적으로 편광시켜, 평행광이 일 방향의 편광성분만을 가질 수 있도록 한다.

[0047] 이 때, 조리개를 통과하기 전 선형 편광자를 투과시켜 평행광을 선형 편광시키는 것이 바람직하다.

[0048] 이 때, 백색광원은 특히 텅스텐-할로겐 램프를 사용할 수 있고, 제1 광섬유는 1000㎜의 직경을 갖는 다중 모드 광섬유에 해당할 수 있으며, 평행광 렌즈는 75㎜의 초점 거리를 가지는 렌즈로 이루어질 수 있다.

[0050] 편광 변조 모듈(200)은, 측정물을 투과한 평행광의 광경로를 제1 빔 스플리터로 직행경로와 변조경로로 나누고, 직행 경로를 통과하는 평행광은 제1, 2 프리즘 거울을 통하여 제2 빔 스플리터로 들어가고, 변조 경로를 통과하는 평행광은 제1, 2 편광자를 통하여 편광 방향을 변화시킨 후 제2 빔 스플리터로 들어가며, 제2 빔 스플리터에서 직행 경로로의 평행광과 변조 경로의 평행광을 수광하고 간섭된 평행광을 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사한다.

[0051] 빔 스플리터는 평행광의 일부는 투과시키며, 일부는 정해진 방향으로 반사시키는 역할을 하며, 이 때 제1, 2 빔 스플리터는 비편광 빔 스플리터(non-polarizing beam splitter)인 것이 바람직하다.

[0052] 편광 변조 모듈은, 마흐 젠더 간섭계(Mach-Zehnder Interfermoeter)의 구성을 변형한 간섭 광학계로 구성되어 있다. 먼저, 측정물을 투과한 평행광은, 제1 빔 스플리터에 의하여, 제1, 2 프리즘 거울을 통과하는 직행 경로(direct path; 220)와 제1, 2 거울 및 제1, 2 편광자를 통과하는 변조 경로(modulation path; 230)로 나뉘게

된다.

[0054] 제1 빔 스플리터에 의하여 분리된 평행광은 직행 경로를 통과하며, 제1 프리즘 거울에서 반사되어 제2 프리즘 거울로 조사되며, 제2 프리즘 거울은 다시 제1 프리즘 거울로 재반사하고, 제1 프리즘 거울은 제2 프리즘 거울로부터 반사된 평행광을 제2 빔 스플리터로 조사한다.

[0055] 이 때, 제1 프리즘 거울은, 직각삼각형 모양으로 구성되어 입사되는 평행광의 각도를 90도 방향전환할 수 있는 것이 바람직하며, 제2 프리즘 거울은 제1 프리즘 거울로부터 입사되는 평행광을 최단 거리로 재반사 할 수 있도록 내면이 직각을 이루고 있는 것이 바람직하다.

[0056] 이 때, 제2 프리즘 거울은, 위치의 조정이 가능하여 평행광의 직행 경로와 변조 경로의 광경로차를 조절할 수 있다. 일반적으로 광경로차를 약 50 micron으로 설정하여 고주파 스펙트럼을 생성한다.

[0058] 제1 빔 스플리터에 의하여 분리된 평행광은 변조 경로를 통과하며, 제1 거울에 의해 90도로 방향 전환이 되며, 제1, 2 편광자를 통과하여 편광되며, 제2 거울에 의해 다시 90도로 방향 전환이 되어, 제2 빔 스플리터로 조사된다.

[0059] 이 때, 제1 편광자의 선형 편광 방향은 90도 또는 0도로 반드시 이루어져야 하며, 제2 편광자의 선형 편광 방향은 45도로 이루어지는 것이 바람직하다. 제1, 2 편광자의 편광 방향을 적절하게 설정해 두어야, 측정물을 통과하는 평행광을 측정하는 듀얼 분광기에서 스토크스 벡터를 스냅샷으로 측정할 수 있다.

[0061] 제2 빔 스플리터에서 다시 결합된 직행 경로와 변조 경로의 평행광들은, 간섭현상이 일어나며, 평행광이 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 진행한다.

[0062] 이 때, 편광 변조 모듈에서 나오는 평행광은, 방향 전환을 위한 제3 빔 스플리터를 통과하는 것이 바람직하며, 제3 빔 스플리터에서 반사되는 빛은 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로, 투과되는 빛은 CCD 카메라를 향해 조사될 수 있다. CCD 카메라를 통해 간섭 이미지의 on-axis 정렬을 수행한다.

[0064] 듀얼 스펙트럼 감지 모듈(300)은, 상기 편광 변조 모듈로부터 입사된 평행광을 제3 빔 스플리터로 분리하고, 분리된 평행광을 제3, 4 편광자를 투과하도록 하여 각각 s선형 편광상태와 p선형 편광상태로 편광하고, 각각 제1, 2 포물면 거울을 통해 집광하여 제1, 2 분광기 광섬유를 통하여 듀얼 분광기로 연결하고, 각각 편광된 평행광의 간섭 스펙트럼을 동시에 스냅샷으로 측정하고, 그 측정값을 스토크스 벡터를 계산해 내는데 사용한다.

[0065] 듀얼 스펙트럼 감지 모듈에서, 제4 빔 스플리터에 의해 s채널과 p채널로 간섭신호가 분리된다. 이 때, s채널은 제3 편광자 및 제1 포물면 거울을 통해서, p채널은 제4 편광자 및 제2 포물면 거울을 통해서 진행하게 된다.

[0066] S채널을 진행하는 평행광은, 제3 편광자에 의하여 s선형 편광상태로 편광되며, 제1 포물면 거울에 의해서 듀얼 분광기의 s편광채널에 연결되는 제1 분광기 광섬유 주입구에 초점이 맞추어 들어간다. 제1 포물면 거울은, 편광된 평행광의 에너지를 집광시켜주는 역할을 수행할 수 있다.

[0067] P채널을 진행하는 평행광은, 제4 편광자에 의하여 p선형 편광상태로 편광되며, 제2 포물면 거울에 의해서 듀얼 분광기의 p편광채널에 연결되는 제2 분광기 광섬유 주입구에 초점이 맞추어 들어간다. 제2 포물면 거울은, 편광된 평행광의 에너지를 집광시켜주는 역할을 수행할 수 있다.

[0068] 따라서, 듀얼 분광기의 s편광채널과 p편광채널은, 2개의 p채널 및 s채널에 들어가는 평행광의 간섭 스펙트럼을 측정할 수 있다.

[0069] 이 때, 제4 빔 스플리터는, 무편광 빔 스플리터(non-polarizing beam splitter)로 구성되는 것이 바람직하며, 제1, 2 포물면 거울은, 50㎜의 초점을 가질 수 있으며, 제1, 2 분광기 광섬유는 1000㎜의 직경을 가질 수 있고, 듀얼 분광기는 가시광선 대역이나 근적외선 대역의 측정범위를 가질 수 있다.

[0071] 컴퓨터 장치(400)는, 듀얼 스펙트럼 감지 모듈이 측정한 스냅샷의 측정값을 기초로 하여 스토크스 벡터를 계산

하고, 그 계산값에 대한 그래프를 도시한다.

[0073] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정장치의 듀얼분광기에서 측정되는 s편광채널과 p편광채널의 스펙트럼 신호를 나타내는 그래프이다.

[0074] 본 발명은 도3과 같은 그래프를 스냅샷 방식으로 얻어내기 때문에, 기존의 기술보다 수십 배 이상의 고속측정이 가능하다.

[0075] 이 때, 먼저 도2의 측정물(170)의 위치에 아무 것도 놓지 않은 채로 측정값을 내고, 그 뒤에 사분의 일 파장판(Quarter wave plate; 이하 'QWP')를 측정물의 위치에 놓고, 평행광이 QWP를 통과한 후 만들어진 원형 편광을 측정한다.

[0076] 이 때, 측정물의 위치에 아무것도 놓지 않은 상태의 복합 파형과, 측정물을 놓은 상태의 복합 파형은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다. (아무것도 놓지 않은 상태는 Ein no_object, 측정물이 있는 상태는 Ein object) 식에서의 u(k)는 x축 방향을, v(k)는 y축 방향의 진폭을 의미한다.

$$E_{in}^{\ no_object}(k) = \begin{bmatrix} u(k)e^{i\xi(k)} \\ v(k)e^{i\eta(k)} \end{bmatrix}$$

$$E_{in}^{\ object}(k) = \begin{bmatrix} u(k)|t_p|e^{i[\xi(k)+\delta_p(k)]} \\ v(k)|t_s|e^{i[\eta(k)+\delta_s(k)]} \end{bmatrix}$$

[0077]

[0078] 측정물의 위치에 아무것도 놓지 않은 채로 측정하고, 측정물을 놓고 한번 더 측정하는 것은, 추후 듀얼 스펙트럼 감지 모듈의 듀얼 분광기에서의 측정시, 스토크스 벡터를 계산하기 위한 측정값이 최종값(측정물이 있는 상태)에서 초기값(측정물이 없는 상태)을 뺀 값을 얻는 것이기 때문이다.

[0079] 측정물을 투과한 평행광이 편광 변조 모듈로 입사하면, 제1 빔 스플리터에 의해 직행 경로(direct path)와 변조 경로(modulation path)로 나뉘게 된다. 이 때, 직행 경로의 변조 경로로 나뉘는 복합 파형은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다. (직행 경로는 ED(k), 변조 경로는 EM(k))

$$E_D(k) = B_2 B_1 E_{in}(k) e^{ikz_D} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} u(k)e^{i[kz_D+\xi(k)]} \\ v(k)e^{i[kz_D+\eta(k)]} \end{bmatrix}$$

$$E_M(k) = B_2 R(-\theta_2) P_2 R(\theta_2) M_2 M_1 R(-\frac{\pi}{2}) P_1 R(\frac{\pi}{2}) B_1 E_{in}(k) e^{ikz_M}$$

$$= \frac{1}{2}\begin{bmatrix} \cos^2\theta_2 & \cos\theta_2 \sin\theta_2 \\ \cos\theta_2 \sin\theta_2 & \sin^2\theta_2 \end{bmatrix} M_2 M_1 \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(k)e^{i[kz_M+\xi(k)]} \\ v(k)e^{i[kz_M+\eta(k)]} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{2}\begin{bmatrix} \cos^2\theta_2 & \cos\theta_2 \sin\theta_2 \\ \cos\theta_2 \sin\theta_2 & \sin^2\theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ r_s^{M_1} r_s^{M_2} v(k)e^{i[kz_M+\eta(k)]} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{2}\begin{bmatrix} \cos\theta_2 \sin\theta_2\, r_s^{M_1} r_s^{M_2} v(k)e^{i[kz_M+\eta(k)]} \\ \sin^2\theta_2\, r_s^{M_1} r_s^{M_2} v(k)e^{i[kz_M+\eta(k)]} \end{bmatrix}$$

[0080]

[0081] 이 때, 변조 경로의 EM(k)는, 제1 편광자의 편광 방향을 90도 또는 0도로 설정함으로써, Ein(k)의 y축 성분인 v(k)만이 남게 된다. 위 수식에서, $\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 행렬이 90도 또는 0도로 편광된 편광자를 나타내는 것이며, 그로 인하여 EM(k)는 x축 성분인 u(k)가 사라지고 y축 성분인 v(k)만이 남게 되는 것이다.

[0082] 위와 같이 측정된 ED(k), EM(k) 값을 토대로 하여, 듀얼 스펙트럼 감지 모듈에서 얻어지는 스펙트럼 강도의 데이터가 다음과 같이 계산될 수 있다.

[0083]
$$I_p(k) = (E_D{}^x + E_M{}^x)(E_D{}^x + E_M{}^x)^*$$
$$I_s(k) = (E_D{}^y + E_M{}^y)(E_D{}^y + E_M{}^y)^*$$

[0084] 따라서, 도3에서 실선으로 나타나는 부분이 위 식의 Ip(k)에 해당하며, 점선으로 나타나는 부분이 Is(k)에 해당한다.

[0085] 먼저 측정물의 위치에 아무것도 놓지 않은 상태에서, Ip(k) 및 Is(k)의 값을 측정할 수 있다. 그 값은 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0086]
$$I_p{}^{no_object}(k) = (E_D{}^x + E_M{}^x)(E_D{}^x + E_M{}^x)^*$$
$$= \left|E_D{}^x\right|^2 + \left|E_M{}^x\right|^2 + 2\gamma_p \left|E_D{}^x\right|\left|E_M{}^x\right| \cos\{kz_0 + [\xi(k) - \eta(k)] + \phi_p(k)\}$$
$$I_s{}^{no_object}(k) = (E_D{}^y + E_M{}^y)(E_D{}^y + E_M{}^y)^*$$
$$= \left|E_D{}^y\right|^2 + \left|E_M{}^y\right|^2 + 2\gamma_s \left|E_D{}^y\right|\left|E_M{}^y\right| \cos[kz_0 + \phi_s(k)]$$

[0087] 측정물의 위치에 투과형 측정시료를 놓고, *Ip*(k)와 *Is*(k)의 값을 다시 측정하면, 그 값은 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0088]
$$I_p{}^{object}(k) = \left|E_D{}^x\right|^2 + \left|E_M{}^x\right|^2 + 2\gamma_p \left|E_D{}^x\right|\left|E_M{}^x\right| \cos[\Phi_p{}^{object}(k)]$$
$$= A_p{}^{DC} + 2\gamma_p A_p{}^{AC} \cos\{kz_0 + [\xi(k) - \eta(k)] + [\delta_p(k) - \delta_s(k)] + \phi_p(k)\}$$
$$I_s{}^{object}(k) = \left|E_D{}^y\right|^2 + \left|E_M{}^y\right|^2 + 2\gamma_s \left|E_D{}^y\right|\left|E_M{}^y\right| \cos[\Phi_s{}^{object}(k)]$$
$$= A_s{}^{DC} + 2\gamma_s A_s{}^{AC} \cos[kz_0 + \phi_s(k)]$$

[0090] 도3에서 계산된 식으로, 듀얼 스펙트럼 감지 모듈에서 p파와 s파의 진폭 비율 및 위상차를 계산할 수 있다. 그 값은 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0091]
$$\Psi_a(k) = \tan^{-1}\left[\frac{t_p(k)}{t_s(k)}\right] = \tan^{-1}\left[\left(\frac{\left|E_D{}^x(k)\right|}{\left|E_D{}^y(k)\right|}\right)\left(\frac{v(k)}{u(k)}\right)\right]$$
$$\Delta_a(k) = \delta_p(k) - \delta_s(k)$$
$$= [\Phi_p{}^{object}(k) - \Phi_s{}^{object}(k)] - [\Phi_p{}^{no_object}(k) - \Phi_s{}^{no_object}(k)]$$

[0093] Ψ값은 p편광과 s편광사이의 진폭 비율을 나타내며, Δ값은 위상차를 나타낸다.

[0094] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정장치의 듀얼분광기에서 측정된 스펙트럼 신호를 컴퓨터 장치로 분석한 분광영역의 스토크스 벡터를 나타내는 그래프이다.

[0095] 측정된 Ψ, Δ값을 기초로 하여, 스토크스 벡터 S1, S2, S3값을 계산해 낼 수 있다. 그 값은 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0096]
$$S_1(k) = -\cos[2\Psi_a(k)]$$
$$S_2(k) = \sin[2\Psi_a(k)]\cos[\Delta_a(k)]$$
$$S_3(k) = -\sin[2\Psi_a(k)]\sin[\Delta_a(k)]$$

[0098] 도 5는 본 발명의 실시예에 따라 수색성의 1/4파장 위상지연판(Achromatic Quarter Wave Plate)를 회전하면서

실시간으로 측정한 분광영역 스토크스 벡터 중 $S_3(k)$의 변화를 나타내는 그래프이다.

[0100] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광편광 측정방법을 설명하기 위한 전체 흐름도이다.

[0101] 도 6을 참조하면, 평행광 모듈이 광대역 백색광을 평행광 렌즈를 통해 평행광으로 변환하고, 평행광의 크기를 조리개를 통하여 조절한다. (S310) 이 때, 조리개를 통하기 전에 선형 편광자를 통하여 평행광을 선형 편광시킬 수 있다.

[0102] 이어, 평행광 모듈은 측정물을 향하여 평행광을 조사한다. (S320)

[0103] 측정물을 투과한 평행광이 편광변조모듈로 입사하며, 빔 스플리터에 의해 직행 경로와 변조 경로로 나뉘게 된다. (S330)

[0104] 이어, 직행경로의 평행광은 제1, 2 프리즘 거울을 거쳐 제2 빔 스플리터로 입사되고, 변조경로의 평행광은 제1, 2 거울 및 제1, 2 편광자를 통과하며, 제1, 2 편광자에 의해 편광된다. (S340) 이 때, 변조경로의 제1 편광자의 선형 편광 방향은 반드시 90도 또는 0도이어야 하며, 제2 편광자의 선형 편광 방향은 45도인 것이 바람직하다.

[0105] 직행경로와 변조경로를 거쳐 온 평행광은 제2 빔 스플리터에서 수광되며, 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사된다. (S350)

[0106] 듀얼 스펙트럼 감지 모듈의 제4 빔 스플리터에서 간섭된 평행광을 분리하고, 분리된 평행광을 각각 s채널과 p채널로 편광한다. (S360)

[0107] 듀얼 분광기의 S편광채널과 P편광채널에서 각각 입사되는 편광된 평행광들의 간섭 스펙트럼을 스냅샷으로 측정한다. (S370)

[0108] 듀얼 분광기에 연결된 컴퓨터 장치가 듀얼 스펙트럼 감지 모듈이 측정한 스냅샷의 측정값을 기초로 하여 스토크스 벡터를 계산한다. (S380)

[0110] 도 7, 8은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광 타원계측기의 구성을 개략적으로 나타낸 구성도이다.

[0111] 도 7, 8의 고속분광 타원계측기는, 도2의 고속분광편광장치의 구성을 일부 변형하여 구현할 수 있다. 이 때, 측정물의 위치에 반사형 필름 시료 (thin film object; 610)을 위치시키고, 반사되는 평행광과 입사 위치가 맞도록 편광 변조 모듈 및 듀얼 스펙트럼 감지 모듈의 위치를 조절하여, 스냅샷 방식으로 스토크스 벡터의 값을 측정하는 분광타원계측기 (spectroscopic ellipsometer; 이하 'SE')의 구현도 가능하다.

[0112] 기존의 SE 시스템은 반도체 박막 측정 분석 등 매우 광범위하게 사용되는 나노측정기술로, 기존 방식 대비했을 때 스냅샷 방식으로 측정함으로써, 동일 결과를 고속으로 측정할 수 있는 효과가 있다.

[0114] 도 9, 10은 본 발명의 실시예에 따른 고속분광 반사계측기의 구성을 개략적으로 나타낸 구성도이다.

[0115] 도 9, 10의 고속분광 반사계측기는, 도2의 고속분광편광장치의 구성을 일부 변형하여 구현할 수 있다. 이 때, 측정물의 위치에 빔 스플리터(beam splitter; 810), 대물 렌즈(Object lens; 811), 반사형 나노패턴 시료 (reflective nano-pattern object; 812)의 구성을 위치시키고, 반사되는 평행광과 입사 위치가 맞도록 편광 변조 모듈 및 듀얼 스펙트럼 감지 모듈의 위치를 조절하여, 스냅샷 방식으로 스토크스 벡터의 값을 측정하는 분광반사계측기 (spectroscopic reflectometer; 이하 'SR')의 구현도 가능하다.

[0116] 평행광 모듈에서 나오는 평행광이 빔 스플리터를 통하여 대물렌즈로 입사되고, 대물렌즈를 투과한 평행광이 반사형 나노패턴 시료로 입사되며, 반사형 나노패턴 시료는 평행광을 재반사하여 다시 대물렌즈를 통해 빔 스플리터를 투과하여 편광변조모듈로 입사된다.

[0117] 기존의 SR 시스템은 반도체 주기나노 패턴 측정 등에 사용되는 나노측정기술로, 기존 방식 대비했을 때 스냅샷 방식으로 측정함으로써, $\Psi(k)$뿐 아니라 $\Delta(k)$를 고속으로 측정할 수 있는 효과가 있다.

[0119] 도 11, 12는 각각 본 발명의 실시예에 따른 마이켈슨(Michelson) 타입의 편광변조 모듈을 적용한 고속분광편광

측정장치의 구성도와 이를 적용한 고속분광편광 측정장치로 측정된 분광영역의 스토크스 벡터를 나타내는 그래프이다

[0120] 도 11의 마이켈슨(Michelson) 타입의 편광변조 모듈을 적용한 고속분광편광 측정장치는, 도2의 마흐 젠더 간섭계 구성을 적용한 분광편광변조 모듈의 구성을 마이켈슨 간섭계 구성으로 변형하여 구현할 수 있다. 이 때, 편광변조를 위한 편광자들이 마이켈슨 간섭계의 한 쪽 경로(path)에 위치하게 되고, 나머지 한 쪽 경로에는 편광변조가 일어나지 않지만 광경로 보상을 위한 윈도우가 위치한다. 마이켈슨(Michelson) 타입의 편광변조 모듈을 적용한 고속분광편광 측정장치는 도 2에서 제시한 마흐 젠더 타입의 고속분광편광측정장치와 같이 약간의 변형을 통해서 분광타원계측기 (SE)와 분광반사계측기 (SR)로도 구현이 가능하다.

[0121] 마이켈슨(Michelson) 타입의 편광변조 모듈을 적용한 고속분광편광 측정장치는 이러한 장치를 보다 단순하고 쉽게 만들 수 있는 효과가 있다.

부호의 설명

[0123] 100: 평행광 모듈 (Beam collimation module)

110: 백색광원 (white light source)

120: 제1 광섬유 (light source fiber 1)

130: 제1 광섬유 주입구 (light source fiber inlet 1)

140: 평행광 렌즈 (collimating lens)

150: 선형편광자 (linear polarizer)

160: 조리개 (iris)

170: 측정물 (transmissive anisotropic object)

200: 편광 변조 모듈 (interferometric polarization modulation module)

210: 제1 빔 스플리터 (beam splitter 1)

220: 직행 경로 (direct path)

221: 제1 프리즘 거울 (prism mirror 1)

222: 제2 프리즘 거울 (prism mirror 2)

230: 변조 경로 (modulation path)

231: 제1 거울 (mirror 1)

232: 제1 편광자 (polarizer 1)

233: 제2 편광자 (polarizer 2)

234: 제2 거울 (mirror 2)

240: 제2 빔 스플리터 (beam splitter 2)

250: 제3 빔 스플리터 (beam splitter 3)

260: CCD 카메라 (CCD camera)

300: 듀얼 스펙트럼 감지 모듈 (Dual spectrum sensing module)

310: 제4 빔 스플리터 (beam splitter 4)

320: 제3 편광자 (polarizer 3)

321: 제1 포물면 거울 (parabolic mirror 1)

322: 제1 분광기 광섬유 주입구 (spectrometer fiber inlet 1)

323: 제1 분광기 광섬유 (spectrometer fiber 1)

324: S편광채널 (s-channel)

330: 제4 편광자 (polarizer 4)

331: 제2 포물면 거울 (parabolic mirror 2)

332: 제2 분광기 광섬유 주입구 (spectrometer fiber inlet 2)

333: 제2 분광기 광섬유 (spectrometer fiber 2)

334: P편광채널 (p-channel)

340: 듀얼 분광기 (dual spectrometer)

400: 컴퓨터 장치 (Computer Device)

610: 반사형 필름 시료 (thin film object)

810: 빔 스플리터 (beam splitter)

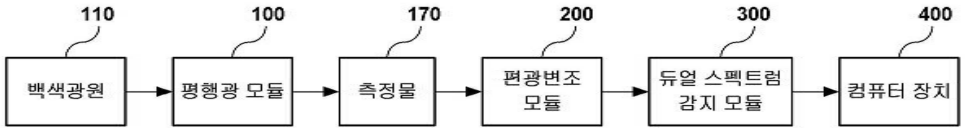
811: 대물렌즈 (object lens)

812: 반사형 나노패턴 시료 (Roll nano-pattern object)

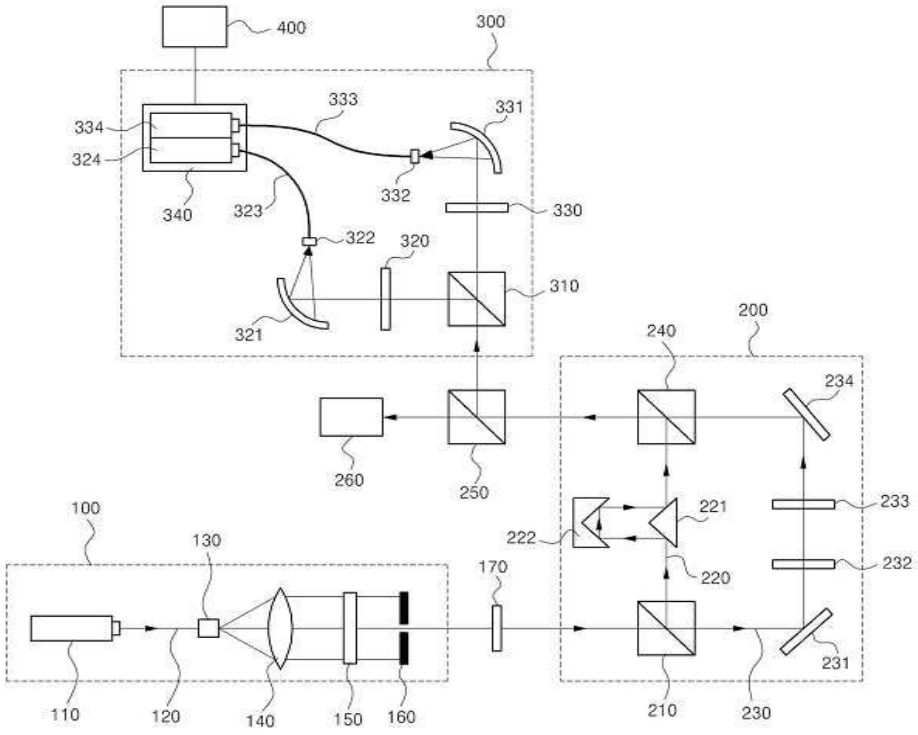
813: 렌즈 (lens)

도면

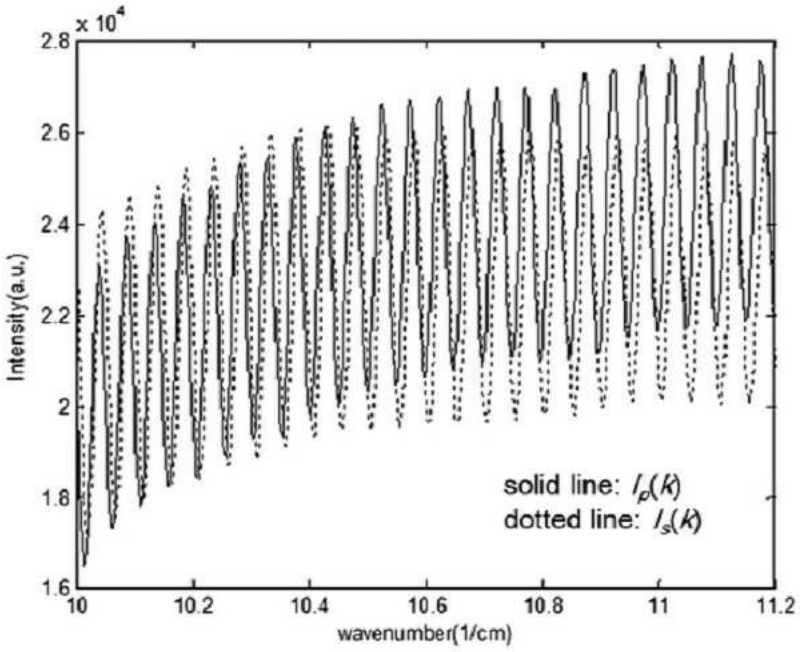
도면1



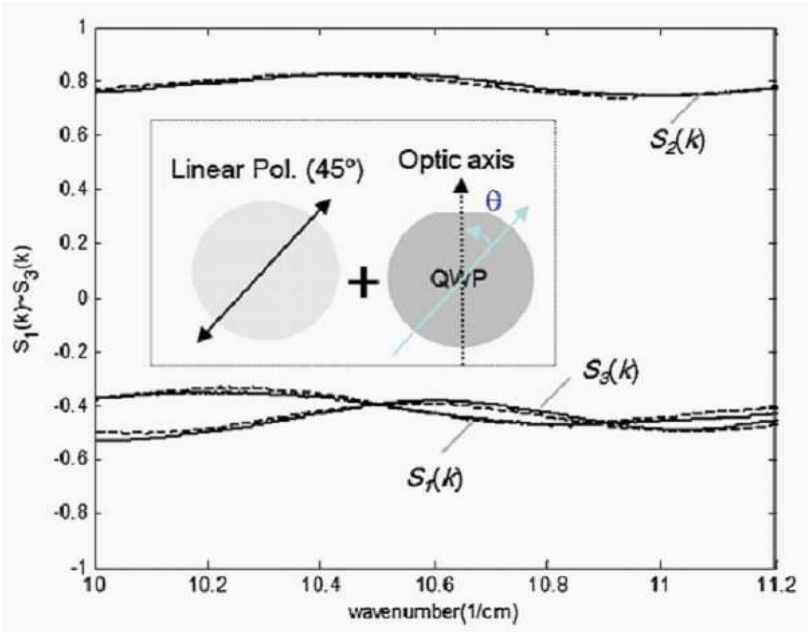
도면2


400
300
333
331
334
324
340
323
332
330
322
320
310
321
200
240
234
260
250
221
233
222
220
232
100
130
170
231
110
120
140
150
160
210
230

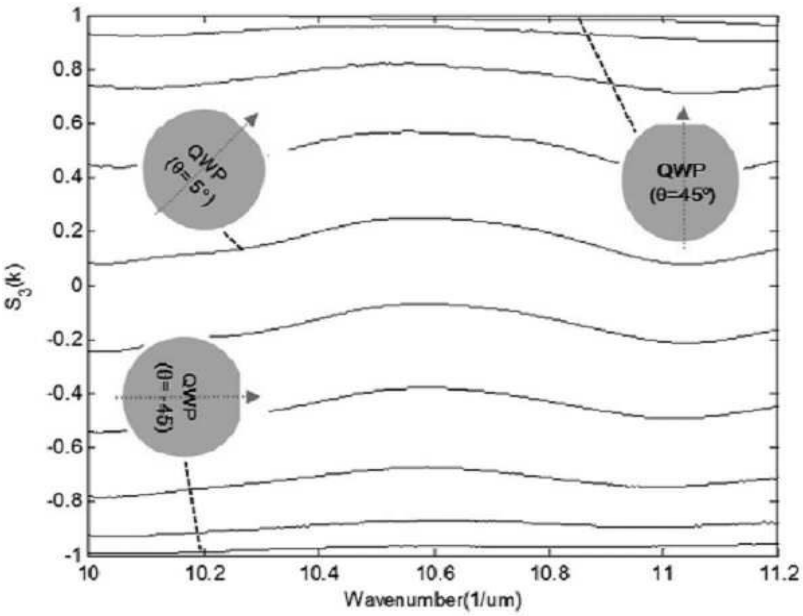
도면3


x 10^4
2.8
2.6
2.4
2.2
2
1.8
1.6
Intensity(a.u.)
10
10.2
10.4
10.6
10.8
11
11.2
wavenumber(1/cm)
solid line: $I_p(k)$
dotted line: $I_s(k)$

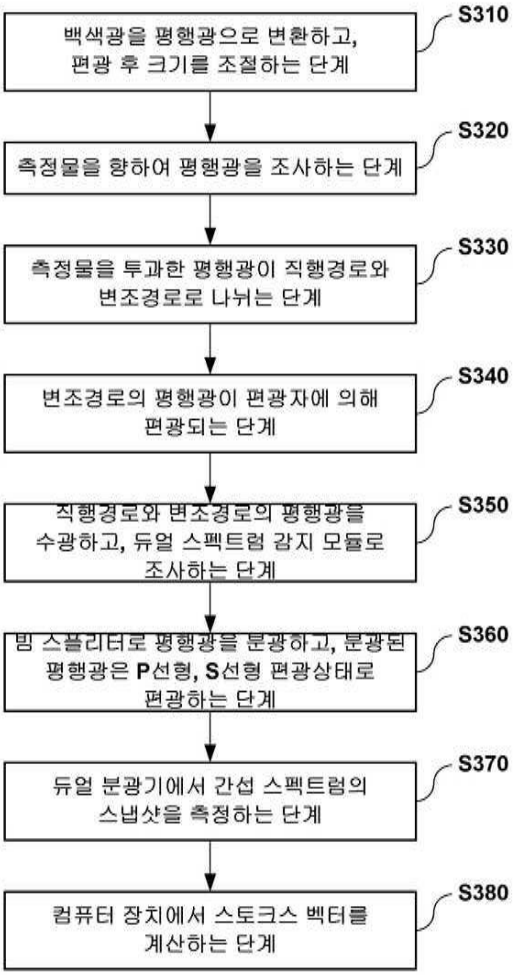
도면4


Linear Pol. (45°)
Optic axis
θ
QWP
$S_2(k)$
$S_3(k)$
$S_1(k)$
$S_1(k)\sim S_3(k)$
wavenumber(1/cm)

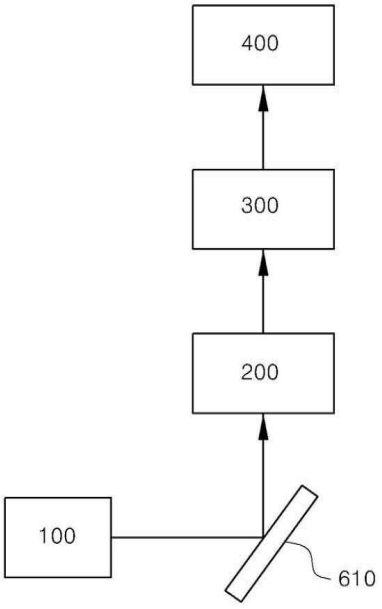
도면5


QWP
(θ=5°)
QWP
(θ=45°)
QWP
(θ=45)
$S_3(k)$
Wavenumber(1/um)

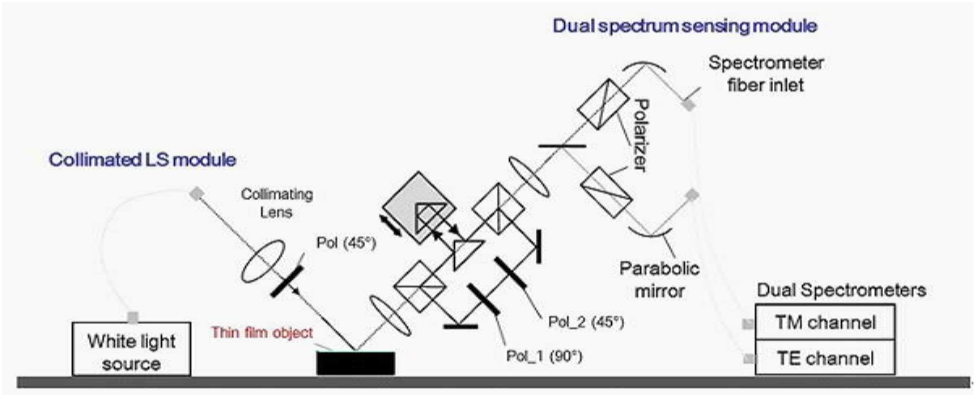
도면6


백색광을 평행광으로 변환하고, 편광 후 크기를 조절하는 단계
S310
측정물을 향하여 평행광을 조사하는 단계
S320
측정물을 투과한 평행광이 직행경로와 변조경로로 나뉘는 단계
S330
변조경로의 평행광이 편광자에 의해 편광되는 단계
S340
직행경로와 변조경로의 평행광을 수광하고, 듀얼 스펙트럼 감지 모듈로 조사하는 단계
S350
빔 스플리터로 평행광을 분광하고, 분광된 평행광은 P선형, S선형 편광상태로 편광하는 단계
S360
듀얼 분광기에서 간섭 스펙트럼의 스냅샷을 측정하는 단계
S370
컴퓨터 장치에서 스토크스 벡터를 계산하는 단계
S380

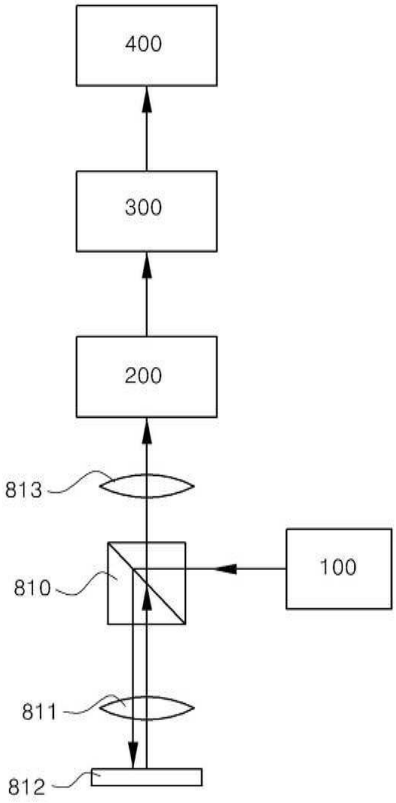
도면7


400
300
200
100
610

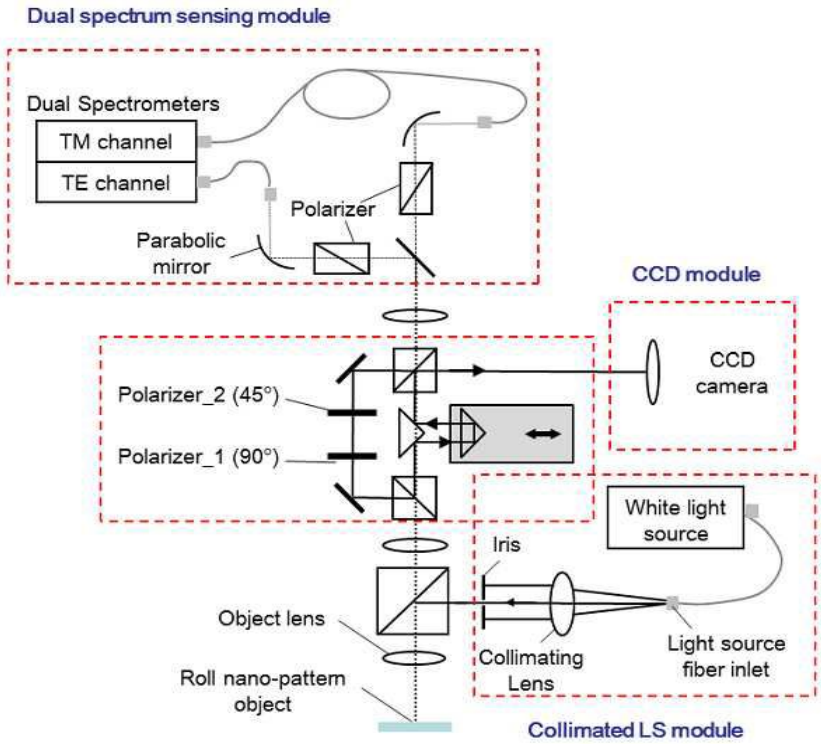
도면8


Dual spectrum sensing module
Spectrometer fiber inlet
Polarizer
Collimated LS module
Collimating Lens
Pol (45°)
Parabolic mirror
Dual Spectrometers
TM channel
TE channel
Pol_2 (45°)
Thin film object
White light source
Pol_1 (90°)

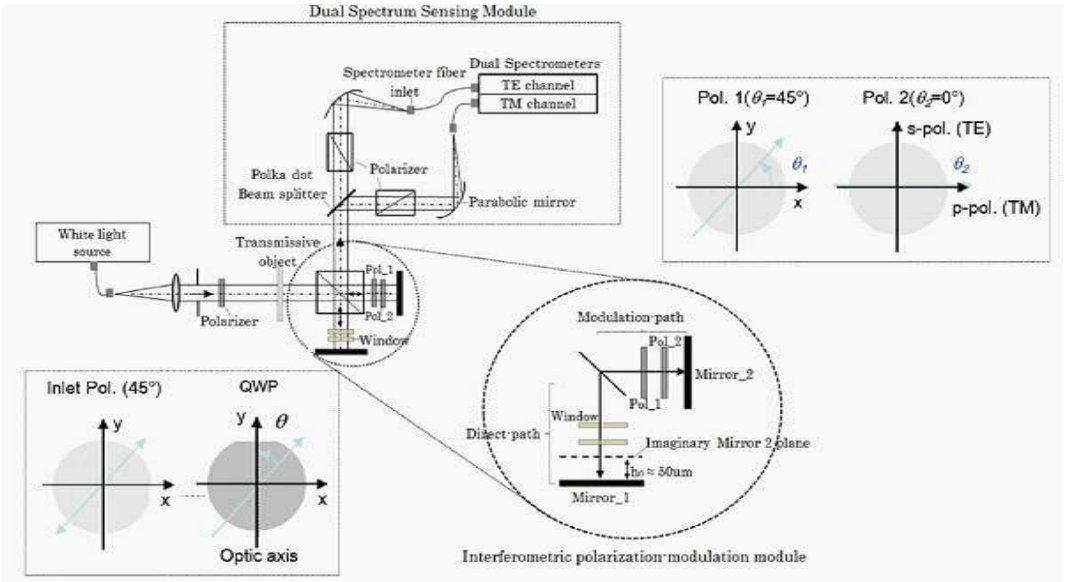
도면9


400
300
200
813
810
100
811
812

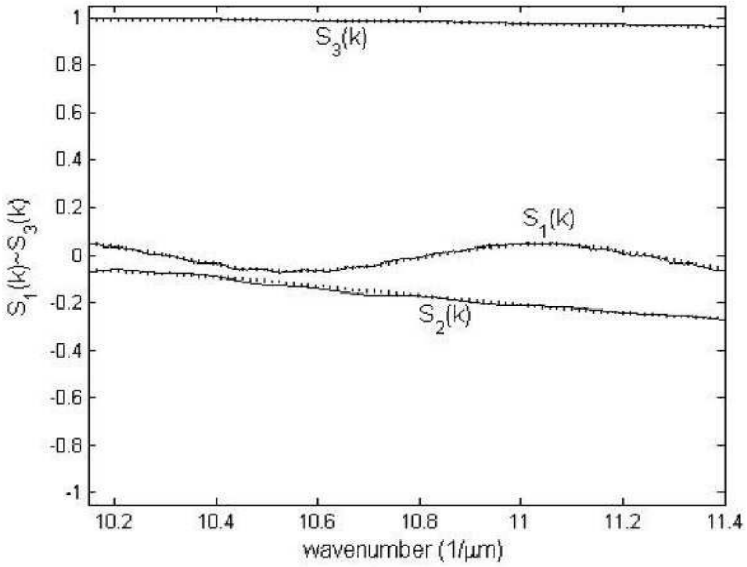
도면10


Dual spectrum sensing module
Dual Spectrometers
TM channel
TE channel
Polarizer
Parabolic mirror
CCD module
CCD camera
Polarizer_2 (45°)
Polarizer_1 (90°)
White light source
Iris
Object lens
Collimating Lens
Light source fiber inlet
Roll nano-pattern object
Collimated LS module

도면11


Dual Spectrum Sensing Module
Spectrometer fiber inlet
Dual Spectrometers
TE channel
TM channel
Polka dot Beam splitter
Polarizer
Parabolic mirror
White light source
Transmissive object
Polarizer
Window
Pol. 1(θ1=45°)
Pol. 2(θ2=0°)
s-pol. (TE)
p-pol. (TM)
Modulation path
Mirror_2
Direct path
Imaginary Mirror 2 plane
Mirror_1
Inlet Pol. (45°)
QWP
Optic axis
Interferometric polarization-modulation module

도면12


S3(k)
S1(k)
S2(k)
S1(k)~S3(k)
wavenumber (1/μm)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
10.2
10.4
10.6
10.8
11
11.2
11.4