



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0062035
(43) 공개일자 2010년06월10일

(51) Int. Cl.

G01J 3/00 (2006.01) G02B 6/10 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0120439

(22) 출원일자 2008년12월01일

심사청구일자 2008년12월01일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

김경현

인천광역시 연수구 동춘동 924번지 현대2차아파트 209동 501호

김승환

인천광역시 남구 주안2동 563-28 요한아트빌 401호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인다래

전체 청구항 수 : 총 18 항

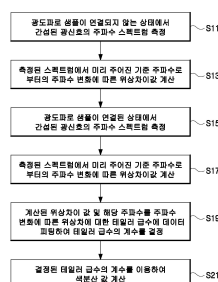
(54) 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성측정방법

(57) 요약

본 발명은 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 관한 것으로, 특히 길이가 짧거나 혹은 색분산 값이 작은 피측정 광도파로샘플에 대해서도 복잡한 측정장치를 사용하지 않고 간편하면서도 정밀하게 색분산 특성을 측정할 수 있는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 관한 것이다.

본 발명의 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법은 다중 파장의 광신호 광원; 상기 광원으로부터 입력되는 광신호를 전송길이가 가변될 수 있는 기준팔과 측정될 광도파로샘플이 연결되는 샘플 팔에 분배하는 광신호분배기 및 상기 분배된 광신호를 결합하여 간섭시키는 광신호결합기를 포함하는 광 간섭계 및; 상기 광 간섭계에서 간섭된 광신호를 전달받아 스펙트럼을 분석하는 광스펙트럼 분석장치를 포함하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 있어서, 상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결되지 않은 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼 분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (a) 단계; 상기 (a) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (b) 단계; 상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결된 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼 분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (c) 단계; 상기 (c) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (d) 단계; 상기 (b) 단계 및 상기 (d) 단계에서 계산된 주파수 변화에 따른 위상차이값들을 테일러 급수 전개에 데이터 피팅하여 테일러 급수의 계수들을 결정하는 (e) 단계 및 상기 (e) 단계에서 결정된 테일러 급수의 계수들을 이용하여 색분산 값을 계산하는 (f) 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

이승훈

인천광역시 남동구 만수동 주공아파트 410-403 호

이일항

경기도 고양시 일산동구 마두2동 강촌마을 한신아파트 203-1601호

특허청구의 범위

청구항 1

다중 파장의 광신호 광원; 상기 광원으로부터 입력되는 광신호를 전송길이가 가변될 수 있는 기준팔과 측정될 광도파로샘플이 연결되는 샘플팔에 분배하는 광신호분배기 및 상기 분배된 광신호를 결합하여 간섭시키는 광신호결합기를 포함하는 광 간섭계 및; 상기 광 간섭계에서 간섭된 광신호를 전달받아 스펙트럼을 분석하는 광스펙트럼 분석장치를 포함하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 있어서,

상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결되지 않은 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼 분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (a) 단계;

상기 (a) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (b) 단계;

상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결된 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼 분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (c) 단계;

상기 (c) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (d) 단계;

상기 (b) 단계 및 상기 (d) 단계에서 계산된 주파수 변화에 따른 위상차이값들을 테일러 급수 전개에 데이터 피팅하여 테일러 급수의 계수들을 결정하는 (e) 단계 및

상기 (e) 단계에서 결정된 테일러 급수의 계수들을 이용하여 색분산 값을 계산하는 (f) 단계를 포함하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 (b) 단계는

상기 (a) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하고,

상기 (d) 단계는

상기 (c) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 (a) 단계에서 상기 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이가 조절된 상태는

상기 스펙트럼의 최대 피크점의 절대값이 상대적으로 최대값을 가지는 상태 또는 백그라운드 노이즈 레벨과 최대 피크점 간의 차이값이 상대적으로 최대값을 가지는 상태 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 기준팔은

공기중으로 광신호를 주고받는 광신호발사수단 및 광신호수광수단을 포함하여 이루어져서 광신호발사수단 및 광신호수광수단 사이의 간격 조절을 통해 공기중으로의 광신호 전송길이가 가변되는 것을 특징으로 하되,

상기 광신호발사수단과 상기 광신호분배기 사이의 광도파로 및 상기 광신호수광수단과 상기 광신호결합기 사이의 광도파로 중 어느 하나 이상은 광섬유인 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 샘플팔은

측정될 광도파로샘플의 양 끝단에 각각 연결되거나 서로 연결되어져서 광신호를 전달하는 한 쌍의 광연결수단을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하되,

상기 광신호 입력측 광연결수단과 상기 광신호분배기 사이의 광도파로 및 상기 광신호 출력측 광연결수단과 상기 광신호결합기 사이의 광도파로 중 어느 하나 이상은 광섬유인 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 광신호발사수단 및 광신호수광수단은 광콜리메이터 또는 그린렌즈 중 어느 하나의 쌍으로 이루어진 것을 특징으로하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 광연결수단 쌍은 광커넥터 또는 융착접속단자 중 어느 하나의 쌍으로 이루어진 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 광신호분배기 및 광신호결합기는 광섬유 커플러인 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 판독가능한 매체.

청구항 10

다중 파장의 광신호 광원; 상기 광원으로부터 입력되는 광신호를 전송길이가 가변될 수 있고 전달받은 광신호를 경로 상에 놓인 반사체를 통해 반사시켜 되돌려보내는 기준팔과 측정될 광도파로샘플이 연결되고 전달받은 광신호를 경로 상에 놓인 반사체를 통해 반사시켜 되돌려보내는 샘플팔에 분배한 후 반사되어 되돌아오는 광신호를 결합하여 간섭시키는 광신호분배결합기를 포함하는 광 간섭계 및; 상기 광 간섭계에서 간섭된 광신호를 전달받아 스펙트럼을 분석하는 광스펙트럼 분석장치를 포함하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 있어서,

상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결되지 않은 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼 분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (a1) 단계;

상기 (a1) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (b1) 단계;

상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결된 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼 분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (c1) 단계;

상기 (c1) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (d1) 단계;

상기 (b1) 단계 및 상기 (d1) 단계에서 계산된 주파수 변화에 따른 위상차이값들을 테일러 급수 전개에 데이터 피팅하여 테일러 급수의 계수들을 결정하는 (e1) 단계 및

상기 (e1) 단계에서 결정된 테일러 급수의 계수들을 이용하여 색분산 값을 계산하는 (f1) 단계를 포함하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 (b1) 단계는

상기 (a1) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하고,

상기 (d1) 단계는

상기 (c1) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 (a1) 단계에서 상기 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이가 조절된 상태는

상기 스펙트럼의 최대 피크점의 절대값이 상대적으로 최대값을 가지는 상태 또는 백그라운드 노이즈 레벨과 최대 피크점 간의 차이값이 상대적으로 최대값을 가지는 상태 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 기준팔은

광신호를 반사시키는 반사체 및 상기 반사체를 향하여 공기중으로 광신호를 발사하여 반사된 광신호를 수광하는 광신호발사수광수단을 포함하여 이루어져서 상기 반사체 및 상기 광신호발사수광수단 사이의 간격 조절을 통해 공기중으로의 광신호 전송길이가 가변되는 것을 특징으로 하되,

상기 광신호발사수광수단과 상기 광신호분배결합기 사이의 광도파로는 광섬유인 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 샘플팔은

측정될 광도파로샘플의 끝단에 연결되어 광신호를 상기 광도파로샘플에 전달하는 연결수단 및 상기 광도파로샘플에 연결수단이 연결된 반대 끝단에 맞닿아 광신호를 반사시켜 되돌려보내는 반사체를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하되,

상기 연결수단과 상기 광신호분배결합기 사이의 광도파로는 광섬유인 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템

을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 광신호발사수광수단은 광폴리메이터 또는 그린렌즈 중 어느 하나의 쌍으로 이루어진 것을 특징으로하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 연결수단은 광커넥터 또는 융착접속단자 중 어느 하나의 쌍으로 이루어진 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 광신호분배결합기는 광섬유 커플러인 것을 특징으로 하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법.

청구항 18

제 10 항 내지 제 17 항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 판독가능한 매체.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 관한 것으로, 특히 길이가 짧거나 혹은 색분산 값이 작은 피측정 광도파로샘플에 대해서도 복잡한 측정장치를 사용하지 않고 간편하면서도 정밀하게 색분산 특성을 측정할 수 있는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광도파로의 색분산 값은 고속 광신호 전송과 더불어 비선형 광학 효과 생성에 영향을 미치는 파라미터이다. 따라서 이를 정확히 측정하는 기술은 중요하다.

[0003] 이러한 광도파로의 색분산 값을 측정하는 방법에는 비행시간법(Time of Flight Method), 위상천이(Phase Shift) 측정법 및 간섭계형 측정법 등이 있다.

[0004] 먼저, 비행시간법은 여러 파장의 펄스를 광섬유 샘플에 보내어 진행되는 시간 지연을 측정하는 방법이다. 그러나 이 방법은 사용하는 레이저의 파장 안정도와 시간적인 지터(Jitter)에 민감할 뿐만 아니라, 실험 구조가 복잡하면서도 불구하고 그 구조가 안정적이어야한다는 단점이 있다.

[0005] 다음으로, 위상천이 측정법은 위상 변조된 광신호가 긴 광섬유 샘플을 지나도록한 다음 파장에 따른 위상 지연을 측정하는 방법이다. 그러나 이 방법은 기준 파장에 대해서 측정 파장이 멀리 떨어져 있고 위상 지연이 클 경우에 정확한 위상 지연을 측정하기 어렵고, 관련 측정 구조가 다소 복잡하다는 단점이 있다.

[0006] 한편, 간섭계형 측정법은 빛의 간섭 현상을 이용하여 빛의 파장, 굴절률, 길이, 스펙트럼의 미세 구조 따위를 정밀하게 측정하는 계기인 간섭계를 이용하여 색분산을 측정하는 방법이다.

[0007] 이러한 간섭계형 측정법에 따른 종래 문헌인 [L.G. Cohen, J. Lightwave Technol. 3, 958-966 (1985)]에서는 마하젠더 간섭계(Mach-Zehnder Interferometer)를 이용하는데, 샘플팔에 놓여 있는 광섬유나 광도파로에 대해서 기준팔의 길이를 조절하면서 시간 축 상에서 순간적으로 간섭무늬가 측정되는 방법을 이용하고 기준팔에 이미

색분산 값을 알고 있는 광섬유 등을 놓고 이에 대해 샘플팔에 놓여 있는 광도파로 샘플의 색분산을 측정함으로써 절대적인 색분산 값을 얻는 방법이 이용되고 있다. 그러나 이 방법에서 절대적인 색분산 값을 알기 위해서는 이미 색분산 값을 알고 있는 기준 광섬유나 광도파로가 필요하다는 단점이 있다.

[0008] 한편, 간섭계형 측정법에 따른 다른 종래 문헌인 [H.-T. Shang, Electron. Lett., 17 (17), 603-605 (1981)]에서는 앞서 설명된 [L.G. Cohen, J. Lightwave Technol. 3, 958-966 (1985)]의 마하젠더 간섭계 구조에서 기준 팔의 간격을 조절하여 간섭계 출력의 스펙트럼을 보면서 양쪽 간섭계 팔에서의 신호 지연이 같은 지점에 해당하는 파장 값을 측정하고, 기준팔의 간격 변화에 따라 파장 값이 변화하는 경향을 측정하여 색분산을 구하는 방법이 이용되고 있다. 그러나 이 방법에서는 간섭계의 출력이 외부 환경에 의해 민감하게 변화하기 때문에, 양쪽 간섭계 팔의 광신호에서 신호 지연이 같은 지점에 해당하는 파장 값을 정확하게 측정하기 용이하지 않고 또한, 이러한 민감한 특성이 실험 측정 오차를 유발한다는 단점이 있다.

[0009] 한편, 간섭계형 측정법에 따른 또 다른 종래 문헌인 [J.Y. Lee and D.Y. Kim, Optics Express 14 (24), 11608-11615 (2006) 와 Applied Optics 46 (29), 7289-7296 (2007)]에서는 샘플이 있을 때의 간섭무늬만 측정하는 구조를 이용하여 55 cm 길이의 광섬유에 대해 색분산을 측정한 결과를 보고하고 있다. 그러나 이 방법에서는 광도파로 샘플이 없을 때의 백그라운드 간섭무늬와의 위상 변화를 고려하지 않아 55 cm 이하의 광섬유나 광도파로 혹은 아주 작은 색분산을 가진 광 도파로 소자에 대해서는 정확도가 떨어진다는 단점이 있다.

[0010] 그 외에도 종래의 또 다른 특허문헌인 [미국 특허 6,882,410]는 광시간영역반사경 (OTDR; Optical Time-Domain Reflector)으로부터 나오는 신호를 기존의 알고 있는 색분산 값에 대한 기준 신호와의 상호연관성(correlation)을 비교하여 샘플의 최소 및 최대 색분산 값을 구하는 방법을 제시하고 있다. 그러나 이 방법은 광시간영역반사경을 이용해야하고, 알고있는 기준 색분산 값과의 비교를 해야 하는 번거로움과 절대값 보다는 상대적인 최소 및 최대값을 구하는 방법에 한정된다는 단점이 있다.

[0011] 한편, 종래의 또 다른 특허문헌인 [미국 특허 6,943,871]는 사냥 루프(Sagnac Loop)형 간섭계를 이용하여 광변조기의 주파수에 따른 간섭계 출력의 변화로부터 색분산을 구하는 방법을 제시하고 있으나, 이 방법에서도 짧은 길이의 광섬유나 광도파로에 대한 측정 방안을 구체적으로 제안하지 못하고 있다.

[0012] 최근에 들어와 실리콘 광도파로에서의 비선형효과를 극대화하기 위해서 색분산 값의 정확한 측정이 필요하게 되었으며, 이러한 실리콘 광도파로 소자의 길이는 대략 수 cm 이하의 짧은 길이를 하고 있다. 그러나 전술한 색분산 측정방법 및 그에 따른 종래의 문헌에는 수 cm 이하 짧은 길이의 광도파로 소자에 대한 정밀한 색분산 측정 방법을 제시하고 있지않다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0013] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 측정 대상인 광도파로샘플이 없을 때의 간섭무늬 및 위상변화를 반영하여 길이가 수십 cm 이하의 아주 짧은 광섬유, 광도파로 또는 광학 소자 등에 대해서도 절대적인 색분산 특성을 정확히 측정할 수 있는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정 방법을 제공함을 그 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0014] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법은 다중 파장의 광신호 광원; 상기 광원으로부터 입력되는 광신호를 전송길이가 가변될 수 있는 기준팔과 측정될 광도파로샘플이 연결되는 샘플팔에 분배하는 광신호분배기 및 상기 분배된 광신호를 결합하여 간섭시키는 광신호결합기를 포함하는 광 간섭계 및; 상기 광 간섭계에서 간섭된 광신호를 전달받아 스펙트럼을 분석하는 광스펙트럼 분석장치를 포함하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 있어서, 상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결되지 않은 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼 분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (a) 단계; 상기 (a) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (b) 단계; 상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결된 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼

분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준 팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (c) 단계; 상기 (c) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (d) 단계; 상기 (b) 단계 및 상기 (d) 단계에서 계산된 주파수 변화에 따른 위상차이값들을 테일러 급수 전개에 데이터 피팅하여 테일러 급수의 계수들을 결정하는 (e) 단계 및 상기 (e) 단계에서 결정된 테일러 급수의 계수들을 이용하여 색분산 값을 계산하는 (f) 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 전술한 구성에서, 상기 (b) 단계는 상기 (a) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하고, 상기 (d) 단계는 상기 (c) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산할 수 있다.

[0016] 또한 전술한 구성에서, 상기 (a) 단계에서 상기 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이가 조절된 상태는 상기 스펙트럼의 최대 피크점의 절대값이 상대적으로 최대값을 가지는 상태 또는 백그라운드 노이즈 레벨과 최대 피크점 간의 차이값이 상대적으로 최대값을 가지는 상태 중 어느 하나일 수 있다.

[0017] 또한 전술한 구성에서, 상기 기준팔은 공기중으로 광신호를 주고받는 광신호발사수단 및 광신호수광수단을 포함하여 이루어져서 광신호발사수단 및 광신호수광수단 사이의 간격 조절을 통해 공기중으로의 광신호 전송길이가 가변되는 것을 특징으로 하되, 상기 광신호발사수단과 상기 광신호분배기 사이의 광도파로 및 상기 광신호수광수단과 상기 광신호결합기 사이의 광도파로 중 어느 하나 이상은 광섬유일 수 있다.

[0018] 또한 전술한 구성에서, 상기 샘플팔은 측정될 광도파로샘플의 양 끝단에 각각 연결되거나 서로 연결되어져서 광신호를 전달하는 한 쌍의 광연결수단을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하되, 상기 광신호 입력측 광연결수단과 상기 광신호분배기 사이의 광도파로 및 상기 광신호 출력측 광연결수단과 상기 광신호결합기 사이의 광도파로 중 어느 하나 이상은 광섬유일 수 있다.

[0019] 또한 전술한 구성에서, 상기 광신호발사수단 및 광신호수광수단은 광콜리메이터 또는 그린렌즈 중 어느 하나의 쌍으로 이루어질 수 있고, 상기 광연결수단 쌍은 광커넥터 또는 융착접속단자 중 어느 하나의 쌍으로 이루어질 수 있으며, 상기 광신호분배기 및 광신호결합기는 광섬유 커플러일 수 있다.

[0020] 전술한 방법을 실행시키기 위한 프로그램은 컴퓨터로 판독가능한 매체에 기록될 수 있다.

[0021] 또한 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법은 다중 파장의 광신호 광원; 상기 광원으로부터 입력되는 광신호를 전송길이가 가변될 수 있고 전달받은 광신호를 경로 상에 놓인 반사체를 통해 반사시켜 되돌려보내는 기준팔과 측정될 광도파로샘플이 연결되고 전달받은 광신호를 경로 상에 놓인 반사체를 통해 반사시켜 되돌려보내는 샘플팔에 분배한 후 반사되어 되돌아오는 광신호를 결합하여 간섭시키는 광신호분배결합기를 포함하는 광 간섭계 및; 상기 광 간섭계에서 간섭된 광신호를 전달받아 스펙트럼을 분석하는 광스펙트럼 분석장치를 포함하는 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 있어서, 상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결되지 않은 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼 분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (a1) 단계; 상기 (a1) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (b1) 단계; 상기 샘플팔에 광도파로샘플이 연결된 상태에 대하여, 상기 광스펙트럼 분석장치에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이를 조절한 후, 상기 간섭계를 통과하여 나오는 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 얻는 (c1) 단계; 상기 (c1) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하는 (d1) 단계; 상기 (b1) 단계 및 상기 (d1) 단계에서 계산된 주파수 변화에 따른 위상차이값들을 테일러 급수 전개에 데이터 피팅하여 테일러 급수의 계수들을 결정하는 (e1) 단계 및 상기 (e1) 단계에서 결정된 테일러 급수의 계수들을 이용하여 색분산 값을 계산하는 (f1) 단계를 포함할 수 있다.

[0022] 전술한 구성에서, 상기 (b1) 단계는 상기 (a1) 단계에서 얻어진 주파수 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산하고, 상기 (d1) 단계는 상기 (c1) 단계에서

얻어진 주파수 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이 값을 계산할 수 있다.

[0023] 또한 전술한 구성에서, 상기 (a1) 단계에서 상기 스펙트럼이 상기 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 상기 기준팔의 광신호 전송길이가 조절된 상태는 상기 스펙트럼의 최대 피크점의 절대값이 상대적으로 최대값을 가지는 상태 또는 백그라운드 노이즈 레벨과 최대 피크점 간의 차이값이 상대적으로 최대값을 가지는 상태 중 어느 하나일 수 있다.

[0024] 또한 전술한 구성에서, 상기 기준팔은 광신호를 반사시키는 반사체 및 상기 반사체를 향하여 공기중으로 광신호를 발사하여 반사된 광신호를 수광하는 광신호발사수광수단을 포함하여 이루어져서 상기 반사체 및 상기 광신호 발사수광수단 사이의 간격 조절을 통해 공기중으로의 광신호 전송길이가 가변되는 것을 특징으로 하되, 상기 광신호발사수광수단과 상기 광신호분배결합기 사이의 광도파로는 광섬유일 수 있다.

[0025] 또한 전술한 구성에서, 상기 샘플팔은 측정될 광도파로샘플의 끝단에 연결되어 광신호를 상기 광도파로샘플에 전달하는 연결수단 및 상기 광도파로샘플에 연결수단이 연결된 반대 끝단에 맞닿아 광신호를 반사시켜 되돌려보내는 반사체를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하되, 상기 연결수단과 상기 광신호분배결합기 사이의 광도파로는 광섬유일 수 있다.

[0026] 또한 전술한 구성에서, 상기 광신호발사수광수단은 광폴리메이터 또는 그린렌즈 중 어느 하나의 쌍으로 이루어질 수 있고, 상기 연결수단은 광커넥터 또는 융착접속단자 중 어느 하나의 쌍으로 이루어질 수 있으며, 상기 광신호분배결합기는 광섬유 커플러일 수 있다.

[0027] 전술한 방법을 실행시키기 위한 프로그램은 컴퓨터로 판독가능한 매체에 기록될 수 있다.

효 과

[0028] 본 발명의 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법에 따르면, 길이가 수십 cm 이하의 아주 짧은 광섬유, 광도파로 또는 광학 소자 등에 대해서도 절대적인 색분산 특성을 정확히 측정할 수 있다.

[0029] 또한, 상대적으로 간단한 측정 구조를 가지면서도 측정 환경이 안정적이어서 외부환경에 민감하지 않으므로 오차가 적다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0030] 이하에는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.

[0031] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법을 설명하기 위한 간섭무늬 측정시스템을 간략하게 나타낸 구성도로써, 도 1a는 광도파로샘플이 연결되지 않은 경우의 구성도이고, 도 1b는 광도파로샘플이 연결된 경우의 구성도이다. 여기서 사용되는 광 간섭계는 마하젠더(Mach-Zehnder) 간섭계이다.

[0032] 도 1a 및 도 1b에 도시된 바와 같이, 간섭무늬 측정시스템은 광원(200), 마하젠더 간섭계(100) 및 광스펙트럼 분석장치(300)를 포함하여 이루어진다.

[0033] 여기서 광원(200)은 다중파장의 광신호를 출력한다.

[0034] 한편, 마하젠더 간섭계(100)는 광원(200)으로부터 입력받은 광신호를 두 개의 팔 즉, 공기중에서의 광신호 전송길이가 가변될 수 있는 기준팔(A)과 광도파로샘플(400)이 연결되는 샘플팔(B)에 각각 분기하는 광신호분배기(102) 및 분기되어 기준팔(A) 및 샘플팔(B)을 거친 광신호를 합쳐 간섭시키는 광신호결합기(107)를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0035] 한편, 광스펙트럼 분석장치(300)는 마하젠더 간섭계(100)로부터 간섭된 광신호를 입력받아 이의 스펙트럼 정보를 분석한다.

[0036] 여기서 기준팔(A)과 샘플팔(B)에는 도중에 끊어진 광도파로인 기준팔광도파로(103)와 샘플팔광도파로(105)가 각각 포함된다.

- [0037] 이러한 기준광도파로(103)의 끊어진 끝단에는 광콜리메이터(Optical Collimator)(104)가 각각 연결되어 공기중으로 광신호를 전달시키는데, 기준광(A)은 이러한 두 광콜리메이터(104) 사이의 간격이 조절됨으로써 공기중에서의 광신호 전송길이가 조절될 수 있다. 여기서 기준광도파로(103)는 거리조절을 위해 유동적이어야하므로 광신호분배기(102)측 기준광도파로(103)와 광신호결합기(107)측 기준광도파로(103) 중 어느 하나 이상은 광섬유인 것이 바람직하다. 한편, 광콜리메이터(104)는 측정환경의 안정화를 위해 임의의 외부구조물에 지지된 채로 그의 사이간격이 조절될 수 있다. 한편, 광콜리메이터(104) 대신에 그린렌즈(GRIN Lens)가 사용될 수 있다.
- [0038] 한편, 샘플광도파로(105)의 끊어진 끝단에는 광커넥터(Optical Connector)(106)가 각각 연결된다. 이러한 광커넥터(106)는 두 광커넥터(106)가 서로 연결(도 1a 참조)되거나 혹은 두 광커넥터(106) 사이에 광도파로샘플(400)이 연결(도 1b 참조)될 수 있다. 여기서 샘플광도파로(105)는 광도파로샘플(400) 연결을 위해 유동적이어야하므로 광신호분배기(102)측 샘플광도파로(105)와 광신호결합기(107)측 샘플광도파로(105) 중 어느 하나 이상은 광섬유인 것이 바람직하다. 한편, 광커넥터(106) 대신에 융착접속단자가 사용될 수 있다.
- [0039] 한편, 광신호분배기(102) 및 광신호결합기(107)는 광섬유 커플러(Coupler)일 수 있다.
- [0040] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법을 간략하게 나타낸 흐름도이다. 도 1a 및 도 1b를 참조하여 도 2에 도시된 본 발명의 일 실시예에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법을 설명하면, 먼저 단계 S11에서는 도 1a에 도시된 바와 같이 샘플광(B)에 광도파로샘플(400)을 연결하지 않은 상태에 대하여 광스펙트럼 분석장치(300)에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 기준광(A)의 공기중 광신호 전송길이를 조절한 후 마하젠더 간섭계(100)를 통과하여 나오는 광신호의 스펙트럼을 스펙트럼을 측정하고 파장을 주파수로 바꾸어 주파수에 대한 스펙트럼을 얻는다. 이때 스펙트럼이 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내는 상태는 예를들어, 스펙트럼의 최대 피크점의 절대값이 가장 큰 상태이거나 백그라운드 노이즈 레벨과 최대 피크점 간의 차이값이 가장 큰 상태일 수 있다.
- [0041] 다음으로, 단계 S13에서는 단계 S11에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산한다. 여기서 단계 S11에서 얻어진 주파수 스펙트럼의 바로 인접한 피크점들간의 위상차이는 2π 이므로, 이러한 피크점들을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산할 수 있다. 일반적으로 피크점이라 하면 상향으로의 피크점을 말하나 단계 S13에서 이용되는 피크점은 하향으로의 피크점일 수도 있다.
- [0042] 다시, 단계 S15에서는 도 1b에 도시된 바와 같이 샘플광(B)의 중간에 광도파로샘플(400)을 연결한 상태에 대하여 광스펙트럼 분석장치(300)에서 측정되어 나타나는 스펙트럼이 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내도록 기준광(A)의 공기중 광신호 전송길이를 조절한 후 마하젠더 간섭계(100)를 통과하여 나오는 광신호의 스펙트럼을 얻는다. 이때 주파수 스펙트럼이 간섭된 광신호의 특성을 상대적으로 잘 나타내는 상태는 단계 S11에서 설명된 바와 동일할 수 있다.
- [0043] 다음으로, 단계 S17에서는 단계 S15에서 얻어진 주파수 스펙트럼을 이용하여 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산한다. 여기서 단계 S15에서 얻어진 주파수 스펙트럼의 바로 인접한 피크점들간의 위상차이는 단계 S11에서의 주파수 스펙트럼과 동일하게 2π 이므로, 단계 S13와 동일한 방법으로 미리 정해진 기준 주파수로부터의 주파수 변화에 따른 위상차이값을 계산할 수 있다. 한편, 단계 S17에서의 피크점은 단계 S13에서와 마찬가지로 상향으로의 피크점 외에 하향으로의 피크점이 이용될 수도 있다.
- [0044] 다음으로, 단계 S19에서는 단계 S13 및 단계 S17에서 계산된 주파수 변화에 따른 위상차이값들을 테일러 급수 전개에 데이터 피팅(Data Fitting)하여 테일러 급수의 계수를 결정한다.
- [0045] 마지막으로, 단계 S21에서는 단계 S19에서 결정된 테일러 급수의 계수들을 이용하여 색분산 값을 계산한다.
- [0046] 이를 통해 본 발명의 일 실시예에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법은 광도파로 샘플이 있는 경우와 없는 경우의 상대적인 위상 차이를 확인할 수 있다.
- [0047] 이하에는 색분산 특성을 도출하기 위한 수학적식을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법을 자세히 설명한다.
- [0048] 먼저, 도 1a에 도시된 바와 같이 광도파로 샘플이 없는 경우에 마하젠더 간섭계(100)의 기준광(A) 및 샘플광

(B)을 지나는 광신호들의 주파수에 따른 전기장 크기는 각각 다음 수학적 1 및 수학적 2로 나타낼 수 있다.

수학적 1

$$E_A = E_0 \exp(-j \beta_A L_A) \cdot \exp(-j 2\pi f T_0) \cdot \exp(j 2\pi f t)$$

수학적 2

$$E_B = a E_0 \exp(-j \beta_B L_B) \cdot \exp(j 2\pi f t)$$

여기에서 E_0 는 광신호분배기(102)에서 갈라져서 기준팔(A)로 진행하는 광신호의 진폭을 나타내고, a 는 기준팔(A)로 진행하는 광신호의 전기장 진폭에 대한 샘플팔(B)로 진행하는 광신호의 전기장 진폭의 상대적인 비율을 나타낸다. 한편, L_A 와 L_B 는 각각 간섭계의 두 기준팔광도파로(103)와 두 샘플팔광도파로(105)의 전체 길이를 나타내며, β_A 와 β_B 는 각각 간섭계의 기준팔광도파로(103)와 샘플팔광도파로(105)로 진행되

는 광신호의 파동 전파 상수를 나타낸다. 한편, T_0 는 기준팔(A)에 있는 두 광 콜리메이터(104) 사이의 공기 간격 길이 d 에 대하여 빛이 지나가는데 걸리는 시간 d/c 로 계산될 수 있다. 여기서 c 는 공기 중의 빛 속도를 나타낸다.

한편, 이들 광신호가 마하젠더 간섭계(100)를 통과하여 출력단(108)을 통해 출력되는 광신호의 세기는 다음 수학적 3으로 나타낼 수 있다.

수학적 3

$$I(f) = |E_A + E_B|^2 = |E_0|^2 (1 + a^2) + 2a |E_0|^2 \cos(\phi(f))$$

여기서 두 팔(A, B)을 지나는 각각의 광신호 간의 전파에 따른 위상 차이는 수학적 4로 나타낼 수 있다.

수학적 4

$$\phi(f) = (\beta_A L_A - \beta_B L_B) + 2\pi f T_0 = 2\pi f [\tau_{AB}(f) + T_0]$$

한편, 두 팔(A, B)을 지나는 두 광신호의 전파 상수에 의한 위상 차이를 나타내는 수학적 4를 이들 신호 간의 시간 지연 $\tau_{AB}(f)$ 으로 표시하면 다음 수학적 5가 정의된다.

수학적 5

$$\beta_A L_A - \beta_B L_B \equiv 2\pi f \tau_{AB}(f)$$

한편, 수학적 4의 위상 차이를 임의의 주파수 f_0 에서의 테일러 급수 (Taylor series)로 전개하면 다음 수학적 6으로 나타내어질 수 있다.

수학식 6

$$\phi(f)=\phi(f_0)+\left|\frac{d\phi}{df}\right|_{f=f_0}\cdot(f-f_0)+\frac{1}{2}\left|\frac{d^2\phi}{df^2}\right|_{f=f_0}\cdot(f-f_0)^2+\frac{1}{6}\left|\frac{d^3\phi}{df^3}\right|_{f=f_0}\cdot(f-f_0)^3+\dots$$

여기서 $\phi(f_0)$ 는 다음 수학식 7과 같다.

수학식 7

$$\phi(f_0)=2\pi f_0[\tau_{AB}(f_0)+T_0]$$

다음으로 도 1b에 도시된 바와같이, 측정될 광도파로 샘플(400)이 두 광커넥터(106) 사이에 연결된 경우에 마하젠더 간섭계(100)의 기준팔(A)과 샘플팔(B)을 지나는 광신호들의 주파수에 따른 전기장 크기는 각각 다음 수학식 8 및 수학식 9로 나타내어진다.

수학식 8

$$E_A'=E_0\exp(-j\beta_A L_A)\cdot\exp[-j2\pi f(T_0+\Delta T)]\cdot\exp(j2\pi ft)$$

수학식 9

$$E_B'=aE_0\exp(-j\beta_S L_S)\cdot\exp(-j\beta_B L_B)\cdot\exp(j2\pi ft)$$

여기서 β_S 는 광도파로 샘플(400) 내에서 진행되는 광신호의 파동 전파 상수를 나타내고, L_S 는 광도파로 샘플(400)의 길이를 나타낸다.

이들 광신호가 마하젠더 간섭계(100)를 통과하여 출력단(108)을 통해 출력되는 광신호의 세기는 다음 수학식 10으로 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$I_S(f)=|E_0|^2(1+a^2)+2a|E_0|^2\cos(\psi(f))$$

여기서 두 팔(A, B)을 지나는 광신호간의 전파에 따른 위상 차이는 다음 수학식 11로 나타내어진다.

수학식 11

$$\psi(f)=(\beta_A L_A-\beta_B L_B)+2\pi f(T_0+\Delta T)-\beta_S L_S=2\pi f[\tau_{AB}(f)+(T_0+\Delta T)]-\beta_S L_S$$

한편, 수학식 4를 수학식 11에 대입하면 수학식 11은 다음 수학식 12와 같이 정리될 수 있다.

수학식 12

$$\psi(f)=\phi(f)+2\pi f\Delta T-\beta_S L_S$$

한편, 수학식 12가 주파수 f에 대해 2차 미분되면 수학식 13이 된다.

수학식 13

$$\frac{d^2 \psi(f)}{df^2} = \frac{d^2 \phi(f)}{df^2} - \frac{d^2 \beta_s(f)}{df^2} L_s$$

여기서 광도파로 샘플(400) 내에서 진행하는 파동 전파 상수의 2차 미분 값은 광도파로 샘플(400) 내에서의 군 속도 $v_g (= L_s / \tau_s)$ 의 파장에 따른 변화 값 즉, 색분산 값에 연관되어 있다. 이들 관계식을 정리하면 다음 수학식 14 및 수학식 15로 나타낼 수 있다.

수학식 14

$$\frac{d \beta_s(f)}{df} \equiv \frac{2\pi}{v_g(f)}$$

수학식 15

$$\tau_s(f) = \frac{L_s}{v_g(f)} = \frac{L_s}{2\pi} \frac{d \beta_s(f)}{df}$$

한편, 광도파로 샘플(400) 내에서의 시간 지연은 수학식 15와 같이 군속도에 연계되어 있으며, 색분산은 단위 샘플 길이당 시간 지연의 파장에 따른 변화율로 정의되므로, 색분산 계산식은 다음 수학식 16과 같이 표시될 수 있다.

수학식 16

$$D_\lambda(f) \equiv \frac{1}{L_s} \frac{d \tau_s(f)}{d \lambda} = - \frac{1}{L_s} \frac{c}{\lambda^2} \frac{d \tau_s(f)}{df} = - \frac{1}{2\pi} \frac{c}{\lambda^2} \frac{d^2 \beta_s(f)}{df^2}$$

$$\frac{1}{d \lambda} = - \frac{c}{\lambda^2} \frac{1}{df}$$

여기에는 수학식 15의 결과와 위의 관계식이 이용되었으며, 수학식 13의 결과를 수학식 16에 대입하면 다음 수학식 17을 얻을 수 있다.

수학식 17

$$D_\lambda(f) = - \frac{1}{2\pi} \frac{c}{\lambda^2 L_s} \left[\frac{d^2 \phi(f)}{df^2} - \frac{d^2 \psi(f)}{df^2} \right]$$

한편, 전술한 수학식 11의 위상차 $\psi(f)$ 도 수학식 6과 같이 임의의 주파수 f_0 에서의 테일러 급수 (Taylor series)로 전개하면 수학식 18로 나타내어질 수 있다.

수학식 18

$$\psi(f) = \psi(f_0) + \left| \frac{d\psi}{df} \right|_{f=f_0} \cdot (f-f_0) + \frac{1}{2} \left| \frac{d^2\psi}{df^2} \right|_{f=f_0} \cdot (f-f_0)^2 + \frac{1}{6} \left| \frac{d^3\psi}{df^3} \right|_{f=f_0} \cdot (f-f_0)^3 + \dots$$

이어서 수학식 6과 수학식 18의 3차항까지 주파수 f에 대해 2차 미분한 결과를 수학식 17에 대입하면 다음 수학식 19를 얻을 수 있다.

수학식 19

$$D_\lambda(f) = -\frac{c}{\lambda^2 L_S} \frac{1}{2\pi} \left[\left| \frac{d^2\phi(f)}{df^2} \right|_{f=f_0} + \left| \frac{d^3\phi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0} \cdot (f-f_0) - \left| \frac{d^2\psi(f)}{df^2} \right|_{f=f_0} - \left| \frac{d^3\psi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0} \cdot (f-f_0) \right]$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

이러한 수학식 19를 의 관계식을 이용하여 다시 쓰면, 수학식 19는 아래의 수학식 20과 같이 기술된다.

수학식 20

$$D_\lambda(\lambda) = -\frac{c}{\lambda^2 L_S} \frac{1}{2\pi} \left[\left| \frac{d^2\phi(f)}{df^2} \right|_{f=f_0} + \left| \frac{d^3\phi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0} \cdot \left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_0} \right) - \left| \frac{d^2\psi(f)}{df^2} \right|_{f=f_0} - \left| \frac{d^3\psi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0} \cdot \left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_0} \right) \right]$$

도 3a 및 도 3b는 도 1a 및 도 1b에 도시된 간섭무늬 측정시스템에서 측정된 간섭무늬 스펙트럼의 예를 나타낸 그래프로서, 도 3a는 파장변화에 따른 분포도이고, 도 3b는 도 3a의 파장을 주파수로 변환한 주파수 변화에 따른 분포도이다.

이들 간섭무늬의 피크 점들은 임의의 주어진 주파수를 기준으로 떨어진 피크 점 차수 m에 의해 $2\pi m$ 만큼 위상이 차이난다. 그렇기 때문에 이의 위상 값들을 이용하여 수학식 6과 수학식 18에 따른 테일러 급수 전개에 데이터 피팅(data fitting)하면 테일러 급수의 각 차수에 해당하는 계수를 얻을 수 있다.

도 4는 도 3a 및 도 3b의 간섭무늬 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 계산된 주파수 변화에 따른 위상변화를 나타낸 그래프이다.

도 4는 도 3a 및 도 3b의 간섭무늬 스펙트럼의 피크점들의 위상 값으로부터 그려진 주파수에 따른 위상변화 값들을 보여주고 있으며, 아울러 테일러 급수 전개에 의한 데이터 피팅 곡선과 급수의 0차에서 3차까지의 첫 4개 차수에 해당하는 계수 값들을 보여주고 있다.

이러한 측정될 광샘플이 없을 때와 광샘플이 있을 때 얻어진 각 간섭무늬 피크 점으로부터 얻어진 테일러 급수

$$\left| \frac{d^2\phi(f)}{df^2} \right|_{f=f_0}, \left| \frac{d^3\phi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0}, \left| \frac{d^2\psi(f)}{df^2} \right|_{f=f_0},$$

의 2차 및 3차 계수에 해당하는

$$\left| \frac{d^3\psi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0}$$

를 수학식 19나 수학식 20에 사용하여 파장에 따른 색분산을 계산할 수 있다.

이러한 방법에 의하면 기준팔에 어떤 색분산 값을 알고 있는 기준 샘플을 이용하지 않아도 측정하고자 하는 광도파로샘플의 색분산 값의 절대치를 측정된 데이터로부터 정확하게 계산해 낼 수 있다.

도 5는 도 1b와 같이 광도파로 샘플이 있는 경우 측정된 간섭무늬 및 위상변화값으로부터 도출된 광도파로 샘플

의 색분산 그래프로써, 광도파로샘플이 없는 경우의 측정된 간섭무늬와 위상변화값을 빼지 않은 그래프 및 빼고 난 후의 그래프를 나타내고 있다.

[0094] 도 5는 광도파로 샘플(400)이 없는 경우 측정된 간섭무늬에 해당하는 위상 변화로부터 얻어진 수학적 20의

$\left| \frac{d^2 \phi(f)}{df^2} \right|_{f=f_0}, \left| \frac{d^3 \phi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0}$ 없이 도출된 색분산 값들과 이들 위상 변화 값을 빼고 난 후에 도출된 색분산 값들을 비교적으로 보여주고 있다. 이들 광도파로 샘플(400)이 없는 경우 얻어진 위상변화 값은 마하젠더 간섭계(100)의 기준팔(A)과 샘플팔(B)에서 광도파로 샘플(400) 이외의 부분에서 미치는 영향이며, 이들 값들을 빼주지 않으면 아주 짧은 길이이거나 색분산 값이 작은 광섬유나 광도파로의 색분산 특성 측정 및 계산에 많은 오차를 유발하게 된다.

[0095] 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법을 설명하기 위한 간섭무늬 측정시스템을 간략하게 나타낸 구성도로써, 도 6a는 광도파로샘플이 연결되지 않은 경우의 구성도이고, 도 6b는 광도파로샘플이 연결된 경우의 구성도이다. 이하 도 1a 및 도 1b와 동일한 구성에는 동일한 참조부호를 부여하고, 그에대한 설명은 생략한다. 여기서 사용되는 간섭무늬 측정시스템은 마하젠더 간섭계의 다른 변형이기도 하지만, 통상 마이켈슨(Michelson) 간섭계라고 명칭되기도 한다.

[0096] 도 6a 및 도 6b에 도시된 간섭무늬 측정시스템은 마하젠더 간섭계(100')의 출력단 측에 거울과 같은 반사체(111)를 이용하여 그 시스템 구성의 두 팔(A, B)의 광신호 전송길이를 절반으로 줄였다. 이의 입력단(101) 및 출력단(108)과 기준팔광도파로(103) 및 샘플팔광도파로(105)는 광신호분배결합기(109)에 연결되는데, 입력단(101)으로부터 전달받은 광신호는 기준팔광도파로(103) 및 샘플팔광도파로(105)에게 분배되어 전달되고 반사체(111)에 반사되어 기준팔광도파로(103) 및 샘플팔광도파로(105)을 통해 되돌아오는 광신호는 결합 간섭되어 출력단(108)으로 전달된다.

[0097] 이러한 간섭무늬 측정시스템에서는 광스펙트럼분석장치(300)에서 간섭무늬가 선명하게 생기도록하기 위해서 광콜리메이터(104)와 반사체(111) 사이의 거리를 조절해야한다. 한편, 광커넥터(106)에 삽입되는 광도파로샘플(400')의 길이는 도 1a 및 도 1b의 경우에 비해 상대적으로 절반 수준으로 줄일 수 있다..

[0098] 또한, 도 6a 및 도 6b에 도시된 간섭무늬 측정시스템에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법은 앞서 도 1a 및 도 1b를 참조하여 설명된 마하젠더 간섭계를 이용한 광도파로샘플의 색분

산 측정방법과 동일하되, 수학적 1 및 8에서의 T_0 는 광콜리메이터(104)와 반사체(111) 사이의 거리 d/c의

2배로 적용하고, 수학적 19, 20 및 21에서의 L_s 는 $2L_s$ 로하여 도 1a 및 도 1b의 경우와 동일하게 측정 및 계산할 수 있다.

[0099] 한편, 색분산 기울기(또는 2차 색분산이라고도 함)도 수학적 20을 파장에 대해서 한번 더 미분한 다음 수학적 21을 통해 계산될 수 있다.

수학적 21

$$\begin{aligned} \frac{dD_{\lambda}(\lambda)}{d\lambda} = & \frac{c}{\lambda^3 L_s} \frac{1}{\pi} \left[\left| \frac{d^2 \phi(f)}{df^2} \right|_{f=f_0} + \left| \frac{d^3 \phi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0} \cdot \left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_0} \right) - \left| \frac{d^2 \psi(f)}{df^2} \right|_{f=f_0} - \left| \frac{d^3 \psi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0} \cdot \left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_0} \right) \right] \\ & + \frac{c^2}{\lambda^4 L_s} \frac{1}{2\pi} \left[\left| \frac{d^3 \phi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0} - \left| \frac{d^3 \psi(f)}{df^3} \right|_{f=f_0} \right] \end{aligned}$$

[0102] 전술한 테일러 급수에서 얻어진 계수를 수학적 21에 이용하면 색분산 기울기 (즉, 2차 색분산) 특성을 정확히

도출해 낼 수가 있다.

[0103] 본 발명의 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법은 전술한 실시예에 국한되지 않고 본 발명의 기술 사상이 허용하는 범위 내에서 다양하게 변형하여 실시할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0104] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법을 설명하기 위한 간섭무늬 측정시스템을 간략하게 나타낸 구성도,

[0105] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법을 간략하게 나타낸 흐름도,

[0106] 도 3a 및 도 3b는 도 1a 및 도 1b에 도시된 간섭무늬 측정시스템에서 측정된 간섭무늬 스펙트럼의 예를 나타낸 그래프,

[0107] 도 4는 도 3a 및 도 3b의 간섭무늬 스펙트럼의 피크점들을 이용하여 계산된 주파수 변화에 따른 위상변화를 나타낸 그래프,

[0108] 도 5는 도 1b와 같이 광도파로 샘플이 있는 경우 측정된 간섭무늬 및 위상변화값으로부터 계산된 광도파로 샘플의 색분산 그래프,

[0109] 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 간섭무늬 측정시스템을 이용한 광도파로샘플의 색분산 특성 측정방법을 설명하기 위한 간섭무늬 측정시스템을 간략하게 나타낸 구성도이다.

[0110] *** 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 ***

[0111] 100: 마하젠더 간섭계,

[0112] 101: 입력단, 102: 광신호분배기,

[0113] 103: 기준팔광도파로, 104: 광콜리메이터,

[0114] 105: 샘플팔광도파로, 106: 광커넥터,

[0115] 107: 광신호결합기, 108: 출력단,

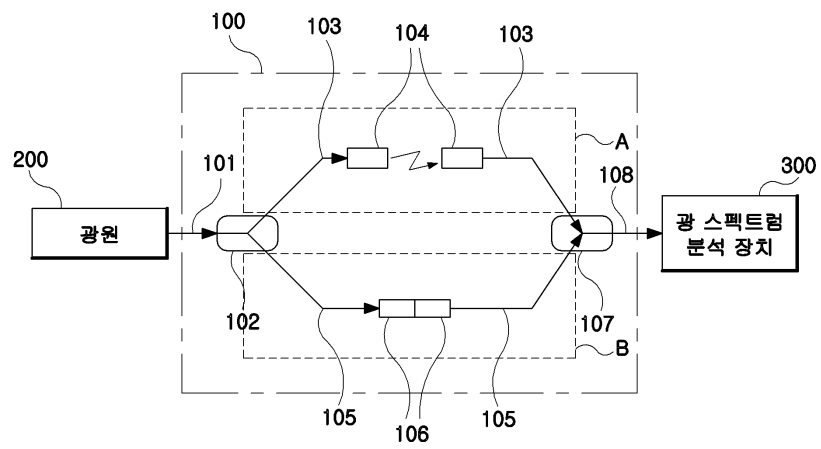
[0116] 109: 광신호분배결합기, 111: 반사체,

[0117] 200: 광원, 300: 스펙트럼 분석장치,

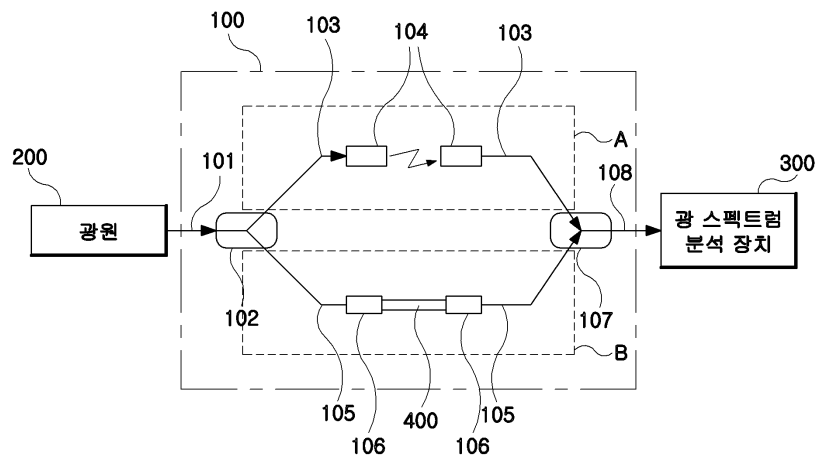
[0118] 400: 광도파로샘플, 400': 광도파로샘플

도면

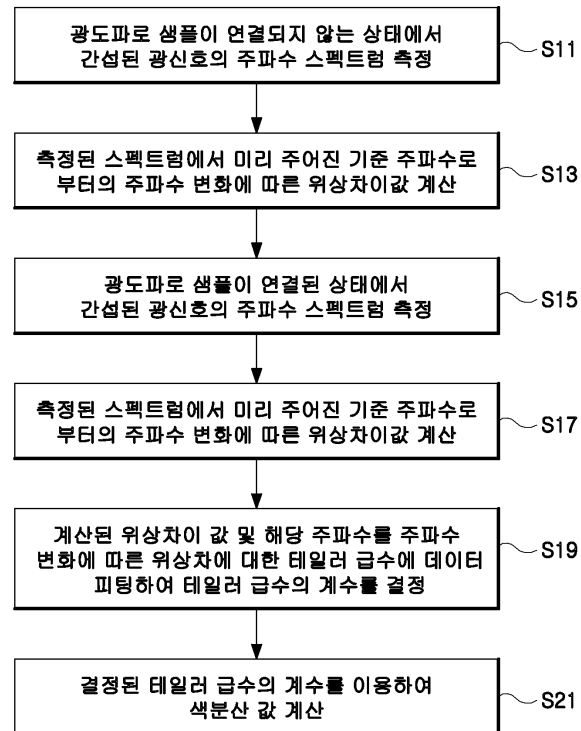
도면1a



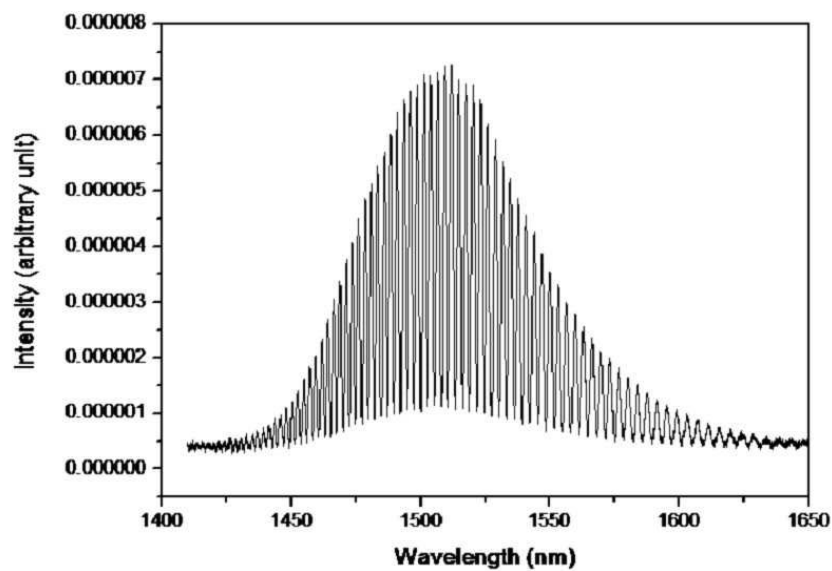
도면1b



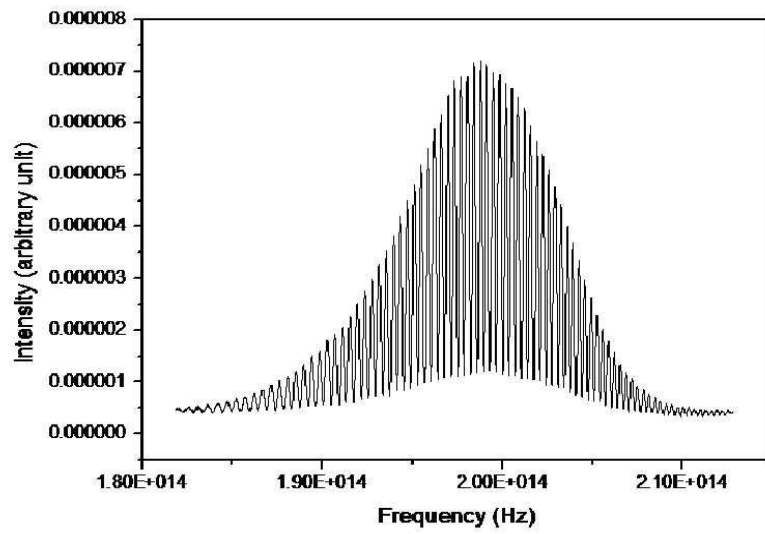
도면2



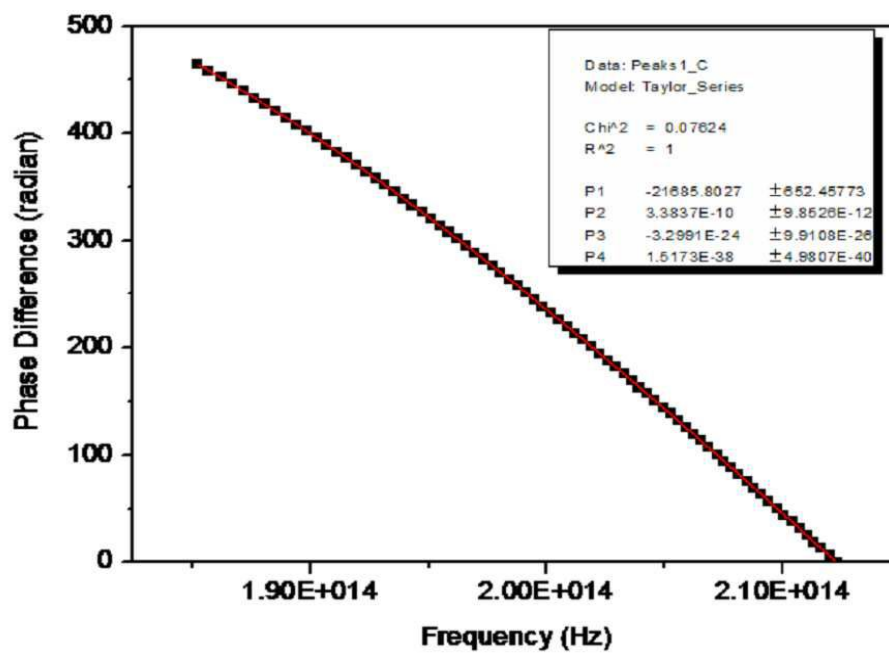
도면3a



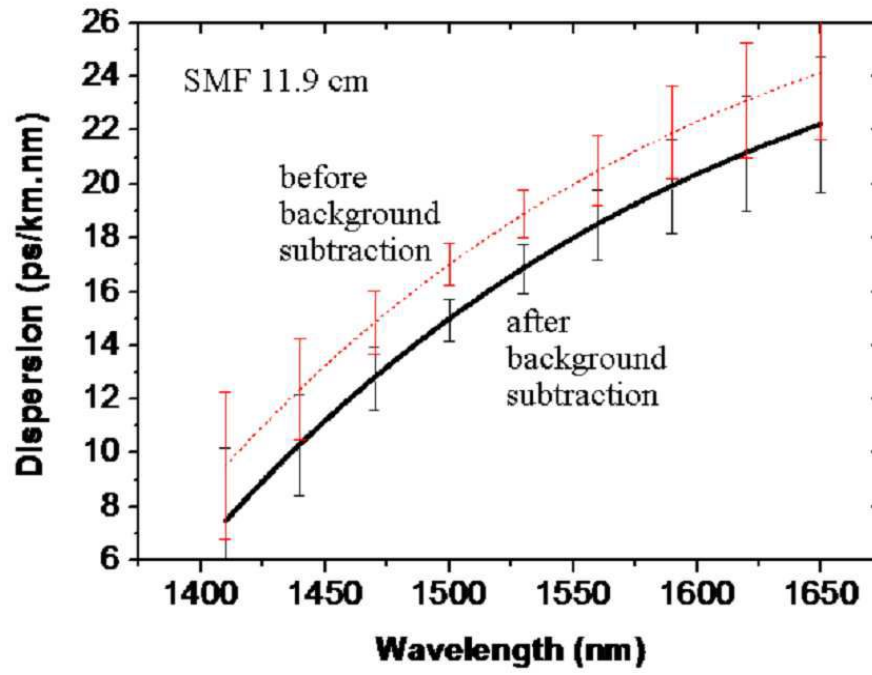
도면3b



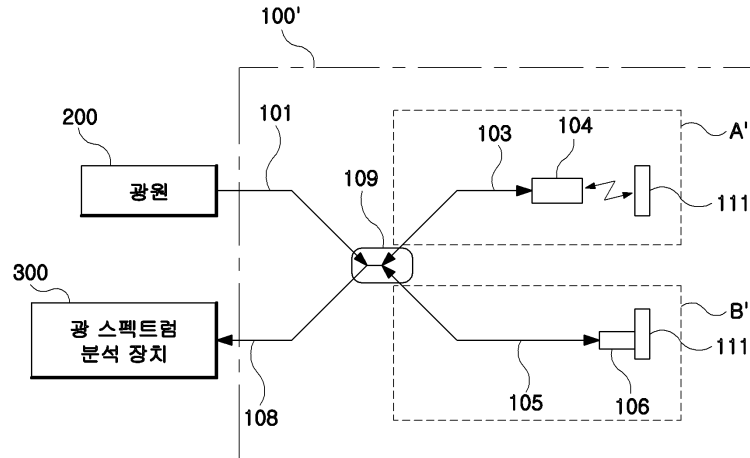
도면4



도면5



도면6a



도면6b

