(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년02월23일
(11) 등록번호 10-2366788
(24) 등록일자 2022년02월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/21 (2006.01) *G01N 21/64* (2006.01)
H01L 51/50 (2006.01) *H05B 33/10* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/21 (2013.01)
G01N 21/64 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7030075
(22) 출원일자(국제) 2017년11월22일
심사청구일자 2020년06월02일
(85) 번역문제출일자 2019년10월14일
(65) 공개번호 10-2020-0011031
(43) 공개일자 2020년01월31일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2017/042073
(87) 국제공개번호 WO 2018/216246
국제공개일자 2018년11월29일
(30) 우선권주장
JP-P-2017-101926 2017년05월23일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
US20090126494 A1
JP08043307 A
JP2002267573 A
JP2006308549 A

(73) 특허권자
하마마츠 포토닉스 가부시키가이샤
일본국 시주오카켄 하마마츠시 히가시쿠 이치노초 1126-1
(72) 발명자
호소카와 기요타다
일본국 시주오카켄 하마마츠시 히가시쿠 이치노초 1126-1 하마마츠 포토닉스 가부시키가이샤 내
에우라 시게루
일본국 시주오카켄 하마마츠시 히가시쿠 이치노초 1126-1 하마마츠 포토닉스 가부시키가이샤 내
(74) 대리인
특허법인태평양

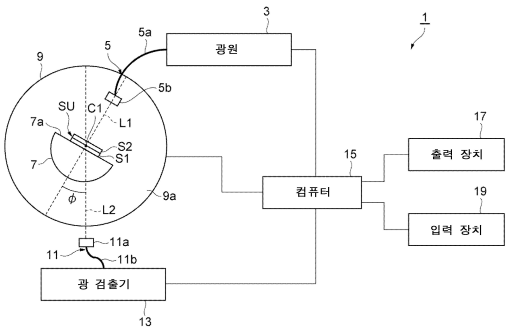
전체 청구항 수 : 총 15 항 심사관 : 정치영

(54) 발명의 명칭 **배향 특성 측정 방법, 배향 특성 측정 프로그램, 및 배향 특성 측정 장치**

(57) 요 약

배향 특성 측정 시스템(1)은 투명성 기판 S1 상에 배치된 시료를 향해서 여기광을 조사하는 조사 광학계(5)와, 시료로부터 발사되는 형광을 도광하는 검출 광학계(11)와, 형광을 검출하는 광검출기(13)와, 시료의 형광 출사측의 면의 수직선과 검출 광학계(11)의 광축 L2가 이루는 각 ϕ를 변경하는 회전 기구(9)와, 시료의 배향 파라미터 S를 산출하는 컴퓨터(15)를 구비하고, 컴퓨터(15)는 회전 기구(9)를 제어하는 회전 기구 제어부(32)와, 광강도의 각도 의존성 분포를 규격화하여 광강도의 각도 의존성 분포를 취득하는 분포 취득부(34)와, 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로 극대 영역의 광강도를 특정하는 영역 특정부(35)와, 시료의 막두께 및 굴절률에 의해서 정해지는 선형 관계와 극대 영역의 광강도에 기초하여 배향 파라미터 S를 산출하는 파라미터 산출부(36)를 가진다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
H01L 51/50 (2013.01)
H05B 33/10 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

소정의 굴절률을 가지고, 투광성을 가지는 기판 상에 소정의 막두께로 배치된 시료를 향해서 조사광을 조사하는 조사 광학계와, 상기 조사광의 조사에 따라서 상기 시료로부터 발사되는 검출광을 도광하는 검출 광학계와, 상기 검출광을 검출하는 광검출기를 이용하여, 상기 시료의 배향 파라미터를 산출하는 방법으로서,

상기 시료의 상기 검출광의 출사측의 면의 수직선과 상기 검출 광학계의 광축이 이루는 각을 변경하면서, 상기 광검출기를 이용하여 상기 검출광을 검출시켜 검출 신호를 출력하는 검출 스텝과,

상기 검출 신호로부터 얻어진 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 상기 이루는 각이 제로도에 있어서의 상기 광강도로, 상기 이루는 각이 소정 범위의 상기 광강도를 규격화하고, 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 취득하는 취득 스텝과,

상기 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대 영역의 광강도를 특정하는 특정 스텝과,

상기 소정의 막두께 및 상기 소정의 굴절률에 의해서 정해지는 광강도와 상기 배향 파라미터에 관련되는 값 사이의 선형 관계와, 상기 극대 영역의 광강도에 기초하여, 상기 배향 파라미터를 산출하는 산출 스텝을 구비하는 배향 특성 측정 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

복수의 막두께와 복수의 굴절률의 조합마다 미리 기억된 복수의 상기 선형 관계 중에서, 상기 소정의 막두께 및 상기 소정의 굴절률에 대응하는 선형 관계를 선택하는 선택 스텝을 추가로 구비하는 배향 특성 측정 방법.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

유저에 의해서 입력된 굴절률 및 막두께에 관한 파라미터를 기초로, 상기 선형 관계를 결정하는 결정 스텝을 추가로 구비하는 배향 특성 측정 방법.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 특정 스텝에 있어서는, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도를 특정하는 배향 특성 측정 방법.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 특정 스텝에 있어서는, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도를 특정하는 배향 특성 측정 방법.

청구항 6

소정의 굴절률을 가지고, 투광성을 가지는 기판 상에 소정의 막두께로 배치된 시료를 향해서 조사광을 조사하는 조사 광학계와, 상기 조사광의 조사에 따라서 상기 시료로부터 발사되는 검출광을 도광하는 검출 광학계와, 상기 시료의 상기 검출광의 출사측의 면의 수직선과 상기 검출 광학계의 광축이 이루는 각을 변경하면서, 상기 검출광을 검출하는 광검출기를 포함하는 검출 장치를 이용하여 상기 검출광을 검출하여 얻어진 검출 신호에 기초하여, 상기 시료의 배향 파라미터를 산출하기 위한 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 저장된 프로그램으로서,

상기 검출 신호로부터 얻어진 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 상기 이루는 각이 제로도에 있어서의 상기 광강도로, 상기 이루는 각이 소정 범위의 상기 광강도를 규격화하고, 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 취득하는 취득 처리와,

상기 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대 영역의 광강도를 특정하는 특정 처리와,

상기 소정의 막두께 및 상기 소정의 굴절률에 의해서 정해지는 광강도와 상기 배향 파라미터에 관련되는 값 사이의 선형 관계와, 상기 극대 영역의 광강도에 기초하여, 상기 배향 파라미터를 산출하는 산출 처리를 컴퓨터에 실행시키는 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 저장된 배향 특성 측정 프로그램.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 컴퓨터에, 복수의 막두께와 복수의 굴절률의 조합마다 미리 기억된 복수의 상기 선형 관계 중에서, 상기 소정의 막두께 및 상기 소정의 굴절률에 대응하는 선형 관계를 선택하는 선택 처리를 추가로 실행시키는 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 저장된 배향 특성 측정 프로그램.

청구항 8

청구항 6 또는 청구항 7에 있어서,

상기 컴퓨터에, 유저에 의해서 입력된 굴절률 및 막두께에 관한 파라미터를 기초로, 상기 선형 관계를 결정시키는 결정 처리를 추가로 실행시키는 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 저장된 배향 특성 측정 프로그램.

청구항 9

청구항 6 또는 청구항 7에 있어서,

상기 특정 처리는 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도를 특정하는 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 저장된 배향 특성 측정 프로그램.

청구항 10

청구항 8에 있어서,

상기 특정 처리는 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도를 특정하는 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 저장된 배향 특성 측정 프로그램.

청구항 11

소정의 굴절률을 가지고, 투광성을 가지는 기판 상에 소정의 막두께로 배치된 시료를 향해서 조사광을 조사하는 조사 광학계와,

상기 조사광의 조사에 따라서 상기 시료로부터 발사되는 검출광을 도광하는 검출 광학계와,

상기 검출광을 검출하여 검출 신호를 출력하는 광검출기와,

상기 시료의 상기 검출광의 출사측의 면의 수직선과 상기 검출 광학계의 광축이 이루는 각을 변경하는 구동 기구와,

상기 이루는 각을 변경하도록 상기 구동 기구를 제어하는 제어부와,

상기 이루는 각을 변경하면서 얻어진 상기 검출 신호를 기초로 상기 시료의 배향 파라미터를 산출하는 처리 장치를 구비하고,

상기 처리 장치는,

상기 검출 신호로부터 얻어진 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 상기 이루는 각이 제로도에 있어서의 상기 광강도로, 상기 이루는 각이 소정 범위의 상기 광강도를 규격화하고, 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 취득하는 취득부와,

상기 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대 영역의 광강도를 특정하는 특정부와,

상기 소정의 막두께 및 상기 소정의 굴절률에 의해서 정해지는 광강도와 상기 배향 파라미터에 관련되는 값 사이의 선형 관계와, 상기 극대 영역의 광강도에 기초하여, 상기 배향 파라미터를 산출하는 산출부를 가지는 배향 특성 측정 장치.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 처리 장치는 복수의 막두께와 복수의 굴절률의 조합마다 미리 기억된 복수의 상기 선형 관계 중에서, 상기 소정의 막두께 및 상기 소정의 굴절률에 대응하는 선형 관계를 선택하는 선택부를 추가로 가지는 배향 특성 측정 장치.

청구항 13

청구항 11 또는 청구항 12에 있어서,

유저에 의해서 입력된 굴절률 및 막두께에 관한 파라미터를 기초로, 상기 선형 관계를 결정하는 결정부를 추가로 구비하는 배향 특성 측정 장치.

청구항 14

청구항 11 또는 청구항 12에 있어서,

상기 특정부는 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도를 특정하는 배향 특성 측정 장치.

청구항 15

청구항 13에 있어서,

상기 특정부는 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도를 특정하는 배향 특성 측정 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 배향 특성 측정 방법, 배향 특성 측정 프로그램, 및 배향 특성 측정 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 근래, 유기 EL(Electro Luminescence) 재료 등을 이용한 디바이스의 고효율화를 위해서, 유기 EL 재료 등의 시료의 분자 배향의 평가 및 제어의 중요성이 높아지고 있다. 종래의 평가 방법에서는, 유기 EL 재료에 있어서의 분자의 배향 질서에 의존하는 형광 스펙트럼의 p편광 성분의 각도 의존성 특성에 관한 측정 결과와, 그 각도 의존성 특성의 시뮬레이션 결과의 비교에 의해, 유기 EL 재료의 면내 분자 배향 질서를 나타내는 배향 파라미터가 결정되어 있다(하기 비특허 문헌 1 참조.)

선행기술문헌

비특허문헌

[0003] (비특허문헌 0001) Takeshi Komino, 외 6명, "Electroluminescence from completely horizontally oriented dye molecules", APPLIED PHYSICS LETTERS 108, 241106(2016)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 상기 비특허 문헌 1에 기재된 배향 파라미터의 결정 방법에서는, 배향 파라미터를 결정하기 위해서는 각도 의존성 특성에 관한 복잡한 시뮬레이션 계산이 필요하게 되어 있다. 따라서, 배향 파라미터를 결정할 때의 연산 시간이 길어지는 경향에 있었다.

[0005] 실시 형태는 배향 특성 측정 방법, 배향 특성 측정 프로그램, 및 배향 특성 측정 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 실시 형태는 배향 특성 측정 방법이다. 배향 특성 측정 방법은 소정의 굴절률을 가지고, 투광성을 가지는 기판 상에 소정의 막두께로 배치된 시료를 향해서 조사광을 조사하는 조사 광학계와, 조사광의 조사에 따라서 시료로부터 발사되는 검출광을 도광하는 검출 광학계와, 검출광을 검출하는 광검출기를 이용하고, 시료의 배향 파라미터를 산출하는 방법으로서, 시료의 검출광의 출사측의 면의 수직선과 검출 광학계의 광축이 이루는 각을 변경하면서, 광검출기를 이용하여 검출광을 검출시켜 검출 신호를 출력하는 검출 스텝과, 검출 신호로부터 얻어진 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 이루는 각이 제로도(zero度)에 있어서의 광강도로, 이루는 각이 소정 범위의 광강도를 규격화하고, 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 취득하는 취득 스텝과, 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대 영역의 광강도를 특정하는 특정 스텝과, 소정의 막두께 및 소정의 굴절률에 의해서 정해지는 광강도와 배향 파라미터에 관련되는 값 사이의 선형 관계와, 극대 영역의 광강도에 기초하여, 배향 파라미터를 산출하는 산출 스텝을 구비한다.

[0007] 혹은, 본 발명의 실시 형태는 배향 특성 측정 프로그램이다. 배향 특성 측정 프로그램은 소정의 굴절률을 가지고, 투광성을 가지는 기판 상에 소정의 막두께로 배치된 시료를 향해서 조사광을 조사하는 조사 광학계와, 조사광의 조사에 따라서 시료로부터 발사되는 검출광을 도광하는 검출 광학계와, 시료의 검출광의 출사측의 면의 수직선과 검출 광학계의 광축이 이루는 각을 변경하면서, 검출광을 검출하는 광검출기를 포함하는 검출 장치를 이용하여 검출광을 검출하여 얻어진 검출 신호에 기초하여, 시료의 배향 파라미터를 산출하기 위한 프로그램으로서, 검출 신호로부터 얻어진 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 이루는 각이 제로도에 있어서의 광강도로, 이루는 각이 소정 범위의 광강도를 규격화하고, 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 취득하는 취득 처리와, 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대 영역의 광강도를 특정하는 특정 처리와, 소정의 막두께 및 소정의 굴절률에 의해서 정해지는 광강도와 배향 파라미터에 관련되는 값 사이의 선형 관계와, 극대 영역의 광강도에 기초하여, 배향 파라미터를 산출하는 산출 처리를 컴퓨터에 실행시킨다.

[0008] 혹은, 본 발명의 실시 형태는 배향 특성 측정 장치이다. 배향 특성 측정 장치는 소정의 굴절률을 가지고, 투광성을 가지는 기판 상에 소정의 막두께로 배치된 시료를 향해서 조사광을 조사하는 조사 광학계와, 조사광의 조사에 따라서 시료로부터 발사되는 검출광을 도광하는 검출 광학계와, 검출광을 검출하여 검출 신호를 출력하는 광검출기와, 시료의 검출광의 출사측의 면의 수직선과 검출 광학계의 광축이 이루는 각을 변경하는 구동 기구와, 이루는 각을 변경하도록 구동 기구를 제어하는 제어부와, 이루는 각을 변경하면서 얻어진 검출 신호를 기초로 시료의 배향 파라미터를 산출하는 처리 장치를 구비하고, 처리 장치는 검출 신호로부터 얻어진 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 이루는 각이 제로도에 있어서의 광강도로, 이루는 각이 소정 범위의 광강도를 규격화하고, 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 취득하는 취득부와, 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포를 기초로, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대 영역의 광강도를 특정하는 특정부와, 소정의 막두께 및 소정의 굴절률에 의해서 정해지는 광강도와 배향 파라미터에 관련되는 값 사이의 선형 관계와, 극대 영역의 광강도에 기초하여, 배향 파라미터를 산출하는 산출부를 가진다.

발명의 효과

[0009] 실시 형태에 의한 배향 특성 측정 방법, 배향 특성 측정 프로그램, 및 배향 특성 측정 장치에 의하면, 효율적인 연산에 의해 시료의 분자 배향 특성을 간편하게 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 실시 형태에 따른 배향 특성 측정 시스템을 나타내는 개략 구성도이다.

도 2는 도 1의 배향 특성 측정 시스템의 광학계의 상세 구성을 나타내는 도면이다.

도 3은 도 1의 컴퓨터의 기능 구성을 나타내는 블록도이다.

도 4는 도 1의 컴퓨터를 포함하는 컴퓨터 시스템의 하드웨어 구성을 나타내는 블록도이다.

도 5는 도 3의 검출 신호 취득부(33)에 의해서 취득되는 분광 스펙트럼 데이터의 값의 일례를 나타내는 그래프이다.

도 6은 도 3의 분포 취득부(34)에 의해서 생성된 광강도 분포 데이터의 일례를 나타내는 그래프이다.

도 7은 종래 문헌의 정식화에 의해서 얻어진 광강도 분포를 나타내는 그래프이다.

도 8은 관측 각도 α_1이 임계각 이하인 경우의 식에 의한 광강도 분포를 나타내는 그래프이다.

도 9는 관측 각도 α_1이 임계각보다 큰 경우의 식에 의한 광강도 분포를 나타내는 그래프이다.

도 10은 다양한 분자 배향 특성을 가지는 재료층 S2에 있어서의 발광 분자의 배열 상태를 개념적으로 나타내는 도면이다.

도 11은 분자의 배향 방향의 각도 Θ와 재료층 S2의 두께 방향의 관계를 나타내는 도면이다.

도 12는 분자의 배향 방향의 각도 Θ와 배향 파라미터 S의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 13은 종래 수법에 있어서의 형광의 광강도의 각도 의존성 특성의 시뮬레이션 결과를 나타내는 그래프이다.

도 14는 도 1의 컴퓨터에 격납된 선형 관계의 데이터의 특성을 나타내는 그래프이다.

도 15는 본 실시 형태에 따른 배향 특성 측정 방법을 나타내는 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하, 첨부 도면을 참조하여, 배향 특성 측정 방법, 배향 특성 측정 프로그램, 및 배향 특성 측정 장치의 실시 형태에 대해 상세하게 설명한다. 덧붙여, 설명에 있어서, 동일 요소 또는 동일 기능을 가지는 요소에는, 동일 부호를 이용하는 것으로 하고, 중복하는 설명은 생략한다.

[0012] (배향 특성 측정 시스템의 전체 구성)

[0013] 도 1은 일 실시 형태에 따른 배향 특성 측정 장치 및 검출 장치인 배향 특성 측정 시스템을 나타내는 개략 구성도이다. 도 1에 나타내는 배향 특성 측정 시스템(1)은 유기 EL 재료 등의 유기 재료의 분자 배향 특성을 측정하는 시스템이며, 광원(3), 조사 광학계(5), 실린드리컬 렌즈(7), 회전 기구(구동 기구)(9), 검출 광학계(11), 광검출기(13), 컴퓨터(15), 출력 장치(17), 및 입력 장치(19)를 구비하고 있다. 덧붙여, 측정 대상인 시료 SU는, 유리, 석영, 수지 재료 등의 투광성 재료로 이루어지는 평판 모양의 투명성 기판 S1 상에, 분자 배향의 측정 대상인 유기 재료로 이루어지는 재료층 S2가 소정의 막두께로 배치된 것이 바람직하게 이용된다. 투명성 기판 S1의 두께는 특정의 두께로 한정되지 않지만, 예를 들면, 0.7㎜~1㎜ 정도이며, 재료층 S2의 막두께는, 예를 들면, 수㎚ 이며, 재료층 S2는 투명성 기판 S1 상에 증착 혹은 도포에 의해서 형성된다.

[0014] 광원(3)은 재료층 S2의 유기 재료를 여기하기 위한 시료 SU를 향해서 소정의 파장 성분의 여기광(조사광)을 조사하는 장치이다. 광원(3)으로서는, 레이저 다이오드(LD), 발광 다이오드(LED), 슈퍼 루미네슨트 다이오드(SLD, Super Luminesent Diode), 램프 광원 등이 이용된다. 이 광원(3)은 후술하는 회전 기구(9)의 외측에 있어서 회전 기구(9)와 독립하여 고정되어 있다.

[0015] 조사 광학계(5)는 광원(3)으로부터의 여기광을 시료 SU를 향해서 조사하도록 여기광을 도광하는 광학계이며, 조사용 광 파이버(5a)와, 여기광 집광 렌즈(5b)를 포함하여 구성된다. 조사용 광 파이버(5a)는 그 입력단이 광원(3)의 출력과 광학적으로 결합됨과 아울러 그 출력단이 여기광 집광 렌즈(5b)의 근방에 배치되어, 광원(3)으로부터 조사된 여기광을 여기광 집광 렌즈(5b)에 입사시킨다. 여기광 집광 렌즈(5b)는 여기광을 시료 SU에 있어서의 투명성 기판 S1의 재료층 S2측의 면의 근방에 집광시킨다. 상세하게는, 조사용 광 파이버(5a)와 여기광 집광 렌즈(5b)는, 여기광을 시료 SU의 투명성 기판 S1의 재료층 S2측의 면의 수직선을 따라서 그 면의 중심부에 조사시키도록 배치되어 있다.

[0016] 실린드리컬 렌즈(7)는 대략 반원 기둥 모양의 렌즈이고, 곡면의 반대측의 평탄면이 시료 SU를 배치하기 위한 배

치면(7a)으로 되어 있다. 즉, 실린드리컬 렌즈(7)에 있어서는, 시료 SU의 투명성 기판 S1측의 면과 배치면(7a)을 옵티컬 그리스(grease)를 이용하여 옵티컬 매칭된 상태로 배치면(7a)상에 시료 SU가 고정되어 있다. 이러한 고정 형태에 의해, 투명성 기판 S1과 실린드리컬 렌즈(7)의 사이에서는 광의 굴절 또는 반사가 생기지 않게 되고, 재료층 S2 내부에서 생긴 형광은, 재료층 S2와 공기의 사이, 재료층 S2와 투명성 기판 S1의 사이에서만 굴절 또는 반사된다. 이 실린드리컬 렌즈(7)는, 시료 SU를 여기광의 조사 방향(즉, 여기광 집광 렌즈(5b)의 출력측)을 향하도록 배치되어, 여기광의 조사에 따라서 시료 SU로부터 발사된 형광(검출광)을 투과하고, 투과한 형광을 검출 광학계(11)를 향해서 출사한다.

[0017] 검출 광학계(11)는 여기광의 조사에 따라서 시료 SU로부터 발사되는 형광을 광검출기(13)에 도광하는 광학계이며, 광학 유닛(11a)과 검출용 광파이버(11b)를 포함하여 구성된다. 광학 유닛(11a)은 시료 SU로부터 발사되어 실린드리컬 렌즈(7)를 통과한 여기광을 받아, 그 여기광으로부터 P 편광 성분을 추출함과 아울러 추출한 P 편광 성분을 검출용 광파이버(11b)의 입력단에 집광시킨다. 이 광학 유닛(11a)은 그 광축이 시료 SU에 있어서의 여기광의 조사 위치에 대략 일치하도록 배치된다. 검출용 광파이버(11b)는 그 입력단이 광학 유닛(11a)에 근접해서 배치됨과 아울러 그 출력단이 광검출기(13)의 입력과 광학적으로 결합되어, 광학 유닛(11a)으로부터 출사된 형광을 광검출기(13)에 입사시킨다. 이들 검출 광학계(11)는 회전 기구(9)의 외측에 있어서 회전 기구(9)와 독립하여 고정되어 있다.

[0018] 회전 기구(9)는 조사 광학계(5)의 일부와 시료 SU가 배치된 실린드리컬 렌즈(7)를 회전 가능하게 지지한다. 상세하게는, 회전 기구(9)는 원형의 평탄한 배치면(9a)을 가지고, 이 배치면(9a)의 중심 C1을 회전 중심으로 하여 배치면(9a)을 따라서 회전 가능하게 구성되어 있다. 이 회전 기구(9)는 후술하는 컴퓨터(15)로부터의 제어에 의해서 회전 각도, 회전 속도, 회전 동작의 온/오프 등의 회전 운전 상태를 제어 가능하게 되어 있다. 그리고, 회전 기구(9)는 실린드리컬 렌즈(7)를, 시료 SU의 투명성 기판 S1의 재료층 S2측의 면이, 배치면(9a)의 중심 C1의 근방에 위치하고, 또한 배치면(9a)에 대략 수직이 되도록 지지한다. 또, 회전 기구(9)는 조사용 광 파이버(5a)의 출력단과 여기광 집광 렌즈(5b)를, 여기광 집광 렌즈(5b)가 출력하는 여기광의 광축 L1이, 재료층 S2의 투명성 기판 S1측(형광 출사측)의 면의 수직선을 따르도록 지지한다. 여기서, 검출 광학계(11)는 회전 기구(9)에 대해서, 광학 유닛(11a)에 입사되는 형광의 광축 L2가 배치면(9a)의 중심 C1의 근방을 통과하도록 배치되어 있다. 이러한 구성에 의해, 회전 기구(9)는, 광검출기(13)에 의해서 검출시키는 형광의 광축 L2와, 시료 SU에 조사시키는 여기광의 광축 L1(재료층 S2의 형광 출사측의 면의 수직선)가 이루는 각 φ를 변경 가능하게 한다. 보다 구체적으로는, 회전 기구(9)는 이루는 각 φ를 적어도 0도~90도의 범위에서 변경 가능하게 구성되어 있다. 덧붙여, 광축 L1과 광축 L2는 배치면(9a)의 중심 C1에서 교차하고 있는 것이 형광의 효율적인 검출의 점에서 바람직하지만, 반드시 배치면(9a)의 중심 C1에서 교차하고 있을 필요는 없으며, 이루는 각이 0도~90도로 변경 가능하면 중심 C1로부터 어긋난 위치에서 교차하고 있어도 된다.

[0019] 광검출기(13)는 검출 광학계(11)에 의해서 도광된 형광을 검출하고, 그 형광의 광강도를 나타내는 강도값 데이터(검출 신호)를 출력한다. 광검출기(13)는, 예를 들면, 분광 검출기이며, 형광을 각 파장 성분으로 분광하여 검출하여, 분광 스펙트럼 데이터(강도값 데이터)를 출력한다. 그 외, 광검출기(13)는 애벌란시 포토 다이오드 등의 포토 다이오드, 또는 광전자 증배관 등의 파장 성분으로 분광하는 일 없이 강도값 데이터를 검출하는 검출기여도 된다.

[0020] 컴퓨터(15)는 광원(3)에 의한 여기광의 조사의 제어, 회전 기구(9)의 회전 운전 상태의 제어, 혹은 검출 신호를 기초로 분자 배향 특성을 나타내는 배향 파라미터의 산출 처리를 실행하는 데이터 처리 장치이다. 컴퓨터(15)는 퍼스널 컴퓨터, 마이크로 컴퓨터, 클라우드 서버, 스마트 디바이스 등의 연산 장치여도 된다. 이 컴퓨터(15)에는, 배향 파라미터 등의 계측 결과의 데이터 혹은 계측 조건의 데이터를 표시(출력)하기 위한 디스플레이, 통신 디바이스 등의 출력 장치(17)와, 계측 조건 등의 데이터를 유저로부터 접수하기 위한 키보드, 마우스, 터치 패널 등의 입력 장치(19)가 전기적으로 접속되어 있다.

[0021] 도 2에는, 배향 특성 측정 시스템(1)의 광학계의 배치면(9a)을 따른 방향에서 본 배치 상태를 나타낸다. 여기에서는, 광축 L1, L2가 이루는 각 φ가 0도로 설정되었을 경우를 나타내고 있다. 도 2에 나타내는 것처럼, 조사 광학계(5)를 구성하는 여기광 집광 렌즈(5b)는, 조사용 광 파이버(5a)의 출력단(5c)의 근방에 배치된 집광 렌즈군에 의해서 구성된다. 이들 집광 렌즈군의 일부 또는 전부는, 여기광의 초점 위치가 시료 SU의 위치와 일치하도록 그 위치를 조정 가능한 기구를 포함하고 있다. 또, 검출 광학계(11)의 광학 유닛(11a)은, 실린드리컬 렌즈(7)측으로부터 검출용 광파이버(11b)의 입력단(11c)측에 걸쳐서 차례로 배치된 편광자(21), 조리개(23), 검출광 집광 렌즈(25), 및 조리개(27)에 의해서 구성된다. 편광자(21)는 시료 SU로부터 발생한 형광 중 P 편광 성분만을 통과시킨다. 덧붙여, 편광자(21)는 P 편광 성분을 통과시키는 것으로는 한정되지 않고, S편광 성분 또는 그

외의 편광 성분을 통과시키는 것이어도 된다. 또, 편광자(21)는 편광 빔 분할기여도 된다. 조리개(23)는 편광자(21)를 통과한 형광의 광속을 제한하여, 광속이 좁혀진 형광을 검출광 집광 렌즈(25)를 향해서 통과시킨다. 검출광 집광 렌즈(25)는 조리개(23)를 통과하여 광속이 좁혀진 형광을, 검출용 광파이버(11b)의 입력단(11c)에 입사시킨다. 조리개(27)는 검출광 집광 렌즈(25)에 의해서 집광된 형광의 광속을 좁혀 검출용 광파이버(11b)의 입력단(11c)에 입사시킨다. 여기서, 검출광 집광 렌즈(25)는 그 초점 위치가 시료 SU의 위치와 일치하도록 그 위치를 조정 가능한 기구를 포함하고 있다.

[0022] (컴퓨터 시스템의 구성)

[0023] 다음에, 출력 장치(17) 및 입력 장치(19)를 포함하는 컴퓨터(15)의 상세 구성에 대해 설명한다. 도 3은 컴퓨터(15)의 기능 블록도, 도 4는 컴퓨터(15), 출력 장치(17), 및 입력 장치(19)를 포함하는 컴퓨터 시스템(20)의 하드웨어 구성을 나타내는 도면이다.

[0024] 도 3에 나타내는 것처럼, 컴퓨터(15)는 기능적인 구성요소로서, 광원 제어부(31), 회전 기구 제어부(제어부)(32), 검출 신호 취득부(33), 분포 취득부(취득부)(34), 영역 특정부(특정부)(35), 및 파라미터 산출부(36)를 포함하여 구성되어 있다. 도 4에 나타내는 것처럼, 컴퓨터(15)를 포함하는 컴퓨터 시스템(20)은, 물리적으로는, CPU(Central Processing Unit)(101), 기록 매체인 RAM(Random Access Memory)(102) 또는 ROM(Read Only Memory)(103), 통신 모듈(104), 출력 장치(17), 및 입력 장치(19) 등을 포함하고 있다. 상술한 컴퓨터(15)의 각 기능부는, CPU(101), RAM(102) 등의 하드웨어 상에 본 실시 형태에 따른 배향 특성 측정 프로그램을 읽어들임으로써, CPU(101)의 제어 하에서, 통신 모듈(104), 출력 장치(17), 및 입력 장치(19) 등을 동작시킴과 아울러, RAM(102)에 있어서의 데이터의 판독 및 기입, 및 ROM(103)으로부터의 데이터의 판독을 행함으로써 실현된다. 즉, 본 실시 형태의 배향 특성 측정 프로그램은, 컴퓨터 시스템(20)을 광원 제어부(31), 회전 기구 제어부(32), 검출 신호 취득부(33), 분포 취득부(34), 영역 특정부(35), 및 파라미터 산출부(산출부, 선택부, 결정부)(36)로서 기능시킨다.

[0025] 이하, 컴퓨터(15)의 각 기능부의 상세 기능에 대해 설명한다.

[0026] 광원 제어부(31)는 입력 장치(19)를 통해서 유저로부터 측정 개시 지시를 받은 것을 계기로, 광원(3)의 동작을 개시시켜 여기광을 조사시키도록 제어하고, 형광 측정 처리의 종료후에 여기광의 조사를 정지시키도록 광원(3)을 제어한다. 회전 기구 제어부(32)는 광원 제어부(31)에 의한 여기광의 조사의 제어와 동기시키고, 회전 기구(9)의 회전 운전 상태를 제어한다(제어 처리). 구체적으로는, 회전 기구 제어부(32)는 조사 광학계(5)의 광축 L1과 검출 광학계(11)의 광축 L2가 이루는 각 ϕ를 0도~90도 사이에서 변경하도록 제어한다. 이 경우, 스텝 모양으로 이루는 각 ϕ를 변경해도 되고, 연속적으로 소정의 변화율로 이루는 각 ϕ를 변경해도 된다.

[0027] 검출 신호 취득부(33)는 광원 제어부(31)에 의해서 여기광의 조사가 개시되어, 회전 기구 제어부(32)에 의해서 이루는 각 ϕ가 0도~90도 사이에서 변경되고 있는 동안에, 연속적으로 광검출기(13)로부터 출력되는 형광의 광강도를 나타내는 강도값 데이터를 취득한다. 분포 취득부(34)는 검출 신호 취득부(33)에 의해서 취득된 이루는 각 ϕ마다의 강도값 데이터를 기초로, 이루는 각 ϕ에 대한 형광의 광강도 분포(각도 의존성 분포)를 나타내는 광강도 분포 데이터 $I(\phi)$를 생성한다. 이 때, 분포 취득부(34)는 강도값 데이터로서 분광 스펙트럼 데이터를 취득하는 경우에는, 이 분광 스펙트럼 데이터를 파장 영역 전체의 광강도를 나타내는 강도값 데이터로 변환하고, 이 강도값 데이터의 변환을 이루는 각 ϕ마다 실행한 후, 변환 후의 강도값 데이터를 기초로 이루는 각 ϕ마다의 광강도의 분포인 광강도 분포 데이터 $I(\phi)$를 생성한다. 그리고, 분포 취득부(34)는 생성한 광강도 분포 데이터 $I(\phi)$를 대상으로, 이루는 각 ϕ가 제로도에 있어서의 강도값으로 이루는 각 ϕ가 소정 범위(예를 들면, $0도 < \phi \leq 90도$)의 강도값을 규격화함으로써, 규격화된 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$를 취득한다(취득 처리).

[0028] 도 5에는 검출 신호 취득부(33)에 의해서 취득되는 분광 스펙트럼 데이터의 값의 일례, 도 6에는 분포 취득부(34)에 의해서 생성된 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$의 일례를 나타내고 있다. 검출 신호 취득부(33)에 의해서 취득되는 형광의 광강도의 파장 특성을 나타내는 분광 스펙트럼 데이터(도 6)가 유의(有意)한 값을 가지는 파장 범위에서 적분됨으로써 형광의 강도값 데이터가 얻어지고, 이 강도값 데이터가 이루는 각 ϕ가 0도~90도의 범위의 복수의 분광 스펙트럼 데이터를 대상으로 반복하여 계산된다. 그리고, 이루는 각 ϕ가 0도~90도의 범위의 강도값이 이루는 각 ϕ=0도의 강도값으로 규격화됨으로써, 규격화된 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$(도 6)가 취득된다. 일반적으로, 유기 재료를 대상으로 얻어지는 광강도 분포는, 도 6에 나타내는 것처럼, 각도 ϕ가 0도부터 증가해 나감에 따라 감소하여, 어느 각도에서 극소치를 가지고(도 6의 경우는 40도 근방), 그 극소치의 각

도보다 큰 각도(도 6의 경우는 50도 근방)에서 극대치를 갖는다고 하는 특성을 가진다.

[0029] 영역 특정부(35)는 분포 취득부(34)에 의해서 생성된 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$을 기초로, 강도값이 극대가 되는 영역에 있어서의 광강도를 특정한다(특정 처리). 즉, 도 6에 나타내는 것 같은 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$을 대상으로 했을 경우는, 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$에 있어서의 강도값이 극소가 되는 각도 ϕ_{min}과 각도 90도 사이에 존재하는 극대 영역의 각도 ϕ_a의 광강도 I_{Npeak}를 특정한다. 극대 영역의 각도 ϕ_a의 광강도 I_{Npeak}는, 극대치에 대응하는 각도 ϕ_{max}의 광강도여도 되고, 각도 ϕ_{max}로부터 소정 각도 범위 내(예를 들면,±5도의 범위 내)의 각도의 광강도여도 되고, 소정 각도 범위 내의 광강도의 최소치, 최대치, 평균치, 혹은 중간치 등이어도 된다.

[0030] 파라미터 산출부(36)는 영역 특정부(35)에 의해서 특정된 극대 영역의 각도 ϕ_a의 광강도 I_{Npeak}의 값과, 미리 정해져 컴퓨터(15) 내에 기억된 선형 관계를 특정하는 데이터를 참조하여, 시료 SU의 재료층 S2의 유기 재료의 분자 배향 특성을 나타내는 배향 파라미터를 산출한다(산출 처리).

[0031] 여기서, 파라미터 산출부(36)의 상세 기능에 대해 설명하기 전에, 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$을 기초로 한 배향 파라미터의 산출의 원리에 대해 기술한다.

[0032] 종래의 연구에 있어서, 배향 특성 측정 시스템(1)과 마찬가지로 반원 기둥 모양 렌즈의 평탄면 상에 등방성의 형광 재료로 이루어지는 시료를 배치시킨 상태에서, UV광을 반원 기둥 모양 렌즈의 반대측으로부터 시료의 면에 수직으로 입사시켰을 경우를 상정하여, 그 경우에 반원 기둥 모양 렌즈측으로부터 출사된 형광의 P 편광 성분의 광강도 분포가 정식화되어 있다. 이 연구에 대해서는, 종래 문헌(「New method for determining refractive index and thickness of fluorescent thin films」,OPTICS COMMUNICATIONS, Volume 31, Number 3, December 1979)에 기재되어 있다. 상세하게는, P 편광 성분의 광강도 분포 P^P는, 반원 기둥 모양 렌즈 상의 시료의 층 내에 있어서의 발광점으로부터의 직접광과 1회의 막 내에서의 반사광의 간섭의 영향을 나타내는 항 Q^P와, 시료의 층 내에 있어서의 발광점으로부터의 직접광과 복수 회의 막 내에서의 반사광의 간섭의 영향을 나타내는 항 M^P와, 형광의 관측 각도와 관측 파장에 의존하는 항 T^P를 이용하여, 하기 수학식 ;

[0033] $$P^P=Q^P M^P T^P$$

[0034] 에 의해서 나타내진다. 이 종래 문헌에 의하면, P 편광 성분의 광강도 분포 P^P는, 하기 수학식 ;

[0035] [수학식 1]

$$pp = \frac{1}{2\pi}\frac{n_1}{n_0}\cos^2\alpha_1 \times \begin{cases} \dfrac{[(n_2/n_0)^4-1]n^{-2}\sin^2\alpha_1+1}{(n\cos\alpha_1+\cos\alpha_2)^2} \\ \dfrac{[(n_2/n_0)^4+1]n^{-2}\sin^2\alpha_1-1}{(1-n^2)[(1+n^{-2})\sin^2\alpha_1-1]} \end{cases}$$

[0036]

[0037] 에 의해서 정식화되어 있다. 상기 식 중, n_1은 반원 기둥 모양 렌즈의 굴절률, n_2는 반원 기둥 모양 렌즈 및 시료 주위의 공간의 굴절률, n_0은 시료의 굴절률, n은 n_2/n_1과 같은 값, α_1은 여기광의 조사 방향과 관찰 대상의 형광의 출사 방향이 이루는 각(이루는 각 ϕ에 대응), α_2는 $n\cdot\sin\alpha_2=\sin\alpha_1$에 의해 정해지는 각도를, 각각 나타내고 있다. 또, 상기 식의 상측의 식은 각도 α_1이 임계각 이하인 경우의 특성을 나타내고, 하측의 식은 각도 α_1이 임계각보다 큰 경우의 특성을 나타내고 있다.

[0038] 도 7에는 상기 종래 문헌의 정식화에 의해서 얻어진 광강도 분포를 나타내고, 도 8에는 각도 α_1이 임계각 이하인 경우의 식에 의한 광강도 분포를 나타내고, 도 9에는 각도 α_1이 임계각보다 큰 경우의 식에 의한 광강도 분포를 나타내고 있다. 덧붙여, 이들 광강도 분포는, 굴절률 n_1=1.516, 굴절률 n_2=1, 굴절률 n_0=1.575로 하여 계산한 분포를 나타내고, 도 7에 나타내는 광강도 분포는, 각도 α_1이 0도의 값으로 규격화되어 있다. 도 8에 나타

내는 것처럼, 각도 α_1이 임계각 이하인 경우의 식의 값은, 각도 α_1이 0도부터 증가함에 따라 서서히 강도가 저하하여 40도 부근에서 극소로 되어 있다. 한편, 도 9에 나타내는 것처럼, 각도 α_1이 임계각보다 큰 경우의 식의 값은, 각도 α_1이 40도와 50도 사이에서 극대치를 가지고, 각도 50도를 초과한 범위에서는 각도가 커짐에 따라서 단조 감소하고 있다. 이러한 특성을 조합한 전체의 광강도 분포는, 도 7에 나타내는 것처럼, 각도 α_1이 40도의 부근에서 극소치를 가지고, 각도 α_1이 40도와 50도 사이에서 극대치를 가진다. 이와 같이, 정식화에 의해서 얻어진 광강도 분포는, 배향 특성 측정 시스템(1)에 의해서 얻어지는 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$와 서로 비슷한 분포를 가지고 있다. 다만, 배향 특성 측정 시스템(1)의 측정 대상의 시료는 다양한 분자 배향 특성을 가지는 유기 재료인데 반하여, 상기 종래 문헌의 정식화의 대상은 등방성의 형광 재료이다.

[0039] 상술과 같은 광강도 분포의 정식화의 이론은, 종래 문헌(「Light emission by multipole sources in thin layers. I. Radiation patterns of electric and magnetic dipoles」, J. Opt. Soc. Am., Vol.71, No.6, June 1981)에도 기재되어 있다.

[0040] 배향 특성 측정 시스템(1)의 측정 대상인 유기 EL 등의 유기 재료는, 분자 배향 특성이 다르면 그 재료로부터의 광의 취출 효율이 다르다. 분자 배향 특성이란 발광 분자가 재료 중에서 어떠한 방향으로 늘어서 있는지를 나타내는 특성이며, 그러한 특성을 나타내는 파라미터로서 배향 파라미터 S가 있다. 도 10에는 다양한 분자 배향 특성을 가지는 재료층 S2에 있어서의 발광 분자의 배열 상태를 개념적으로 나타내고 있다. 도 10의 (a)부에 나타내는 재료층 S2에 있어서는, 발광 분자 MO가 그 쌍극자 모멘트가 층의 두께 방향 D1에 대해서 90도가 되도록 배치되어 있다. 도 10의 (b)부에 나타내는 재료층 S2에 있어서는, 발광 분자 MO가 그 쌍극자 모멘트를 층의 두께 방향 D1에 대해서 0도가 되도록 배치되어 있다. 도 10의 (c)부에 나타내는 재료층 S2에 있어서는, 발광 분자 MO가 그 쌍극자 모멘트를 층의 두께 방향 D1에 대해서 54.7도가 되도록 배치되어 있다. 또, 도 10의 (d)부에 나타내는 재료층 S2에 있어서는, 복수의 발광 분자 MO가, 이들 쌍극자 모멘트가 층의 두께 방향 D1에 대해서 랜덤한 각도를 향하도록 배치되어 있다. 이러한 재료층 S2의 분자 배향 상태를 평가하기 위한 배향 파라미터 S는, 하기 수학식 ;

[0041] $$S=(3/2)\cdot(\cos^2\Theta-1/3)$$

[0042] 에 의해서 산출된다. 도 11에 나타내는 것처럼, 상기 식 중의 각도 Θ는, 두께 방향 D1을 따른 Z축에 대한 발광 분자의 평균적인 배향 방향(쌍극자 모멘트)의 각도를 나타내고 있고, 이 배향 방향은 X성분 μ_x, Y성분 μ_y, 및 Z성분 μ_z을 가진다. 도 11에 나타내는 X축 및 Y축은 재료층 S2의 두께 방향과 수직인 축이다. 예를 들면, 도 10의 (a)부에 나타내는 상태의 재료층 S2의 배향 파라미터 S=-0.5이고, 도 10의 (b)부에 나타내는 상태의 재료층 S2의 배향 파라미터 S=1이고, 도 10의 (c)부 및 (d)부에 나타내는 상태의 재료층 S2의 배향 파라미터 S=0이다. 도 12에는, 각도 Θ와 배향 파라미터 S의 관계를 나타낸다. 이와 같이, 배향 파라미터 S는 각도 Θ가 0도에서 90도로 변화함에 따라서 감소하며, 그 최대치가 1이고 최소치가 -0.5이다. 이 배향 파라미터 S가 작아질수록 광의 취출 효율이 높다는 것을 의미한다.

[0043] 다른 문헌(「Electroluminescence from completely horizontally oriented dye molecules」, APPLIED PHYSICS LETTERS 108, 241106(2016))에는, 유기 재료층으로부터의 형광의 광강도의 각도 의존성 특성이 분자 배향 특성마다 다른 것을 이용하여, 각도 의존성 특성을 기초로 배향 파라미터 S를 결정하는 수법이 검토되어 있다. 구체적으로는, 유기 EL 재료를 대상으로 한 형광 스펙트럼의 p 편광 성분의 각도 의존성 특성에 관한 측정 결과와, 그 각도 의존성 특성의 시뮬레이션 결과의 비교에 의해, 유기 EL 재료의 배향 파라미터 S가 결정되어 있다. 도 13에는, 이 수법에 있어서의 광강도의 각도 의존성 특성의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 이 시뮬레이션 결과는, 분자의 쌍극자 모멘트의 Z성분 μ_z를 0~1의 범위에서 변경하면서 계산된 복수의 각도 의존성 특성을 나타내고 있다. 여기서, 분자의 쌍극자 모멘트의 X성분 μ_x, Y성분 μ_y, Z성분 μ_z는, 하기 수학식 ;

[0044] $$\mu_x+\mu_y+\mu_z=1,$$

[0045] $$\mu_x=\mu_y$$

[0046] 와 같이 가정되어 있다. 종래의 수법에서는, 실제로 측정된 형광의 광강도의 각도 의존성 특성을, 시뮬레이션 결과의 복수의 특성과 피팅함으로써, 분자의 쌍극자 모멘트의 Z성분 μ_z를 구하고, 이 값으로부터 배향 파라미터

S가 결정되고 있다.

[0047] 본 발명자 등은, 상기의 종래 수법에 있어서의 시뮬레이션 계산에 의해 얻어진 광강도의 각도 의존성 특성에 주목했다. 그 결과, 각도 의존성 특성의 극소치에 대응하는 각도로부터 90도 사이에 있어서 배향 파라미터 S와 관계없이 강도값이 일치하는 등발광점 P1이 존재하는 것, 및 각도 0도에 있어서의 강도값은 Z성분 μ_z에 의존하여 변화하는 것을 찾아냈다. 또한, 이 등발광점 P1의 각도와 규격화 후의 각도 의존성 특성의 극대점의 각도는 거의 일치하고, 규격화 후의 각도 의존성 특성의 극대치의 역수와 배향 파라미터 S와 관련되는 값은 거의 선형 관계가 되는 것을 발견했다. 이에, 본 발명자 등은, 이러한 성질을 이용하여, 각도 0도의 강도로 규격화된 광강도의 각도 의존성 특성을 기초로, 배향 파라미터 S를 얻을 수 있다고 생각했다.

[0048] 상술한 원리를 이용한 파라미터 산출부(36)의 기능에 대해 설명한다.

[0049] 파라미터 산출부(36)는 계측 대상의 재료층 S2의 막두께 및 그 재료층 S2의 굴절률에 의해서 정해지는, 광강도와 배향 파라미터 S와 관련되는 값인 Z성분 μ_z 사이의 선형 관계를 나타내는 데이터와, 영역 특정부(35)에 의해서 특정된 극대 영역의 광강도 I_{Npeak}를 기초로, 배향 파라미터 S를 산출한다. 컴퓨터(15)에 있어서는, ROM(103) 등의 데이터 격납부에 미리 상기 선형 관계를 나타내는 데이터가 격납되어 있다. 도 14에는 컴퓨터(15) 내에 격납된 선형 관계의 데이터의 특성을 나타내고 있다. 이와 같이, 선형 데이터를 나타내는 데이터에 의해서, Z성분 μ_z와 규격화 후의 각도 의존성 특성의 극대치의 역수의 선형적인 대응 관계가 특정 가능하게 되어 있다. 컴퓨터(15) 내에 격납되는 선형 관계를 나타내는 데이터의 형태는, Z성분 μ_z와 극대치의 역수 RI의 관계가 하기 수학식 ;

[0050] $$RI=-A\cdot\mu_z+A$$

[0051] 로 나타내지는 경우에, 수학식 자체여도 되고, 계수 A 그 자체여도 되고, 도 14에 플롯되는 선형식 상의 복수의 표본점에 있어서의 좌표치의 데이터의 조합이어도 된다. 이러한 선형 관계를 나타내는 데이터는, 미리 다양한 배향 파라미터 S에 관해서 실행된 광강도의 각도 의존성 특성의 시뮬레이션 결과를 이용하여 산출되고, 계측 대상의 재료에 관한 막두께와 그 재료의 굴절률의 조합마다 산출되어 미리 복수 기억되어 있다. 파라미터 산출부(36)는 유저로부터 입력 장치(19)를 통해서 입력된 계측 대상의 재료층 S2의 막두께 및 그 재료층 S2의 굴절률에 관한 값을 기초로, 미리 기억된 복수의 선형 관계를 나타내는 데이터 중에서, 배향 파라미터 S의 산출에 이용되는 선형 관계를 나타내는 데이터를 선택(결정)한다(선택 처리, 결정 처리). 그리고, 파라미터 산출부(36)는 그 데이터와 영역 특정부(35)에 의해서 특정된 극대 영역의 광강도 I_{Npeak}를 기초로, Z성분 μ_z를 특정한다. 구체적으로는, 선택한 선형 관계가 도 14에 나타내는 것 같은 특성으로서, 극대 영역의 광강도 I_{Npeak}의 역수가 $RI_0=1/I_{Npeak}$라고 계산되었을 경우는, 역수 RI_0에 대해서 도 14에 나타내지는 선형 관계를 가지는 Z성분 μ_{z0}이, 재료층 S_2의 쌍극자 모멘트의 Z성분 μ_z으로서 도출된다.

[0052] 또한, 파라미터 산출부(36)는 분자의 쌍극자 모멘트의 X성분 μ_x, Y성분 μ_y, Z성분 μ_z가, 하기 수학식 ;

[0053] $$\mu_x+\mu_y+\mu_z=1,$$

[0054] $$\mu_x=\mu_y$$

[0055] 에 나타내지는 관계를 가지고, 배향 파라미터 S가 하기 수학식 ;

[0056] $$S=(\mu_z^2-\mu_x^2)/(\mu_z^2+2\mu_x^2)$$

[0057] 로 정의되는 것을 이용하여, 배향 파라미터 S를 하기 수학식 ;

[0058] $$S=\{\mu_z^2-(1/4)(1-\mu_z)^2\}\ /\ \{\mu_z^2+(1/2)(1-\mu_z)^2\}$$

[0059] 에 의해서 계산한다. 그리고, 파라미터 산출부(36)는 계산한 배향 파라미터 S를 출력 장치(17)에 출력한다. 여기에서는, 파라미터 산출부(36)는 계산한 배향 파라미터 S를, 통신 모듈(104) 및 네트워크를 경유하여 외부에 송신해도 된다.

[0060] (배향 특성 측정 방법의 각 스텝의 설명)

[0061] 다음에, 도 15의 순서도를 참조하여, 본 실시 형태에 따른 컴퓨터(15)의 동작 방법(컴퓨터(15)에서 실행되는 처리)인 배향 특성 측정 방법을, 처리마다 설명한다. 도 15는 본 실시 형태에 따른 배향 특성 측정 방법을 나타내는 순서도이다.

[0062] 처음에, 입력 장치(19)에 의해서 측정 개시 지시가 접수된 것을 계기로, 광원 제어부(31)의 제어에 의해, 광원(3)으로부터의 여기광의 조사가 온 된다(스텝 S01). 이에 더하여, 회전 기구 제어부(32)의 제어에 의해서, 회전 기구(9)의 회전 구동이 개시되어, 조사 광학계(5)의 광축 L1과 검출 광학계(11)의 광축 L2가 이루는 각 ϕ가 0도~90도의 범위에서 변경된다(스텝 S02). 그것에 따라서, 검출 신호 취득부(33)에 의해서, 광검출기(13)로부터 연속적으로 강도값 데이터가 취득된다(스텝 S03). 이루는 각이 0도~90도의 범위의 강도값 데이터의 취득이 종료되면, 광원(3)으로부터의 여기광의 조사가 오프됨과 아울러, 회전 기구(9)의 회전 구동도 정지된다(스텝 S04).

[0063] 그 후, 분포 취득부(34)에 의해서, 이루는 각 ϕ가 0도~90도의 범위에서 취득된 강도값 데이터를 기초로 이루는 각 ϕ마다의 광강도의 분포인 광강도 분포 데이터 $I(\phi)$가 생성되고, 이 광강도 분포 데이터 $I(\phi)$의 강도값을 이루는 각 ϕ가 0도의 강도값으로 규격화됨으로써 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$가 취득된다(스텝 S05). 다음에, 영역 특정부(35)에 의해, 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$을 기초로, 극대 영역의 각도 ϕ_a의 광강도 I_{Npeak}가 특정된다(스텝 S06). 또한, 파라미터 산출부(36)에 의해, 유저로부터 입력된 재료층 S2의 막두께 및 굴절률에 관한 값을 기초로, 그 막두께 및 굴절률에 대응하는 선형 관계를 특정하는 파라미터로서, 선형 계수 A가 특정된다(스텝 S07). 그리고, 파라미터 산출부(36)에 의해, 특정된 선형 계수 A에 의해서 나타내지는 선형식과, 극대 영역의 각도 ϕ_a의 광강도 I_{Npeak}를 기초로, 재료층 S2의 쌍극자 모멘트의 Z성분 μ_z가 산출되고, 이 Z성분 μ_z를 기초로 배향 파라미터 S가 추가로 산출된다(스텝 S08). 마지막으로, 산출된 배향 파라미터 S가 출력 장치(17)에 출력되어 배향 특성 측정 처리가 종료된다(스텝 S09).

[0064] 덧붙여, 본 발명자 등은, 굴절률 n이 1.74 이상 1.91 이하의 범위이고, 막두께 d가 10nm 이상 20nm 이하의 범위인 경우, 평면 피팅법을 이용하여, 선형 계수 A를 막두께 d 및 굴절률 n의 2차원 다항식에서 구할 수 있는 것을 찾아냈다. 즉, 선형 계수 A는 하기 수학식 ;

[0065] $$A=-A_1d^2n^3+A_2d^2n^2-A_3d^2n+A_4d^2+A_5dn^3-A_6dn^2+A_7dn-A_8d-A_9n^3+A_{10}n^2-A_{11}n+A_{12}$$

[0066] 로 나타낼 수 있다. 덧붙여, A_n(n=1, 2, 3. . .12)은 실수이다. 따라서, 스텝 S07에 있어서, 파라미터 산출부(36)에 의해, 유저로부터 입력된 재료층 S2의 막두께 및 굴절률에 관한 값을 기초로, 그 막두께 및 굴절률에 대응하는 선형 관계를 특정하는 파라미터로서, 선형 계수 A를 특정할 수 있다.

[0067] 상술한 배향 특성 측정 시스템(1) 및 배향 특성 측정 시스템(1)에 의한 배향 특성 측정 방법에 의하면, 조사광의 조사에 따라 시료 SU의 재료층 S2로부터 발사되는 형광의 강도를, 재료층 S2의 형광 출사면의 수직선과 검출 광학계(11)의 광축 L2가 이루는 각 ϕ를 변경하면서 측정함으로써, 형광의 광강도의 각도 의존성 분포를 얻을 수 있다. 그리고, 광강도의 각도 의존성 분포를 이루는 각 ϕ가 제로도의 값으로 규격화하고, 그 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포에 있어서의 극대 영역의 광강도를 특정하고, 그 광강도와 미리 결정되는 선형 관계를 이용하여 배향 파라미터 S가 산출된다. 이것에 의해, 시뮬레이션 연산 등의 복잡한 연산을 필요로 하는 일 없이, 효율적인 연산에 의해 시료의 배향 파라미터 S를 간편하게 측정할 수 있다.

[0068] 상기 형태에 있어서는, 복수의 막두께와 복수의 굴절률의 조합마다 미리 기억된 복수의 선형 관계를 나타내는 데이터 중에서, 재료층 S2의 막두께 및 재료층 S2의 굴절률에 대응하는 선형 관계를 나타내는 데이터가 선택되어 있다. 이 경우, 추가로 간편한 연산에 의해 짧은 연산 시간에 배향 파라미터 S를 산출할 수 있다.

[0069] 또, 유저에 의해서 입력된 재료층 S2의 굴절률 및 재료층 S2의 막두께에 관한 파라미터를 기초로, 선형 관계를 나타내는 데이터가 결정되고 있다. 이 경우, 적절한 선형 관계를 이용하여 배향 파라미터 S를 산출하므로, 보다 정확하게 배향 파라미터 S를 측정할 수 있다.

[0070] 또한, 형광의 광강도의 각도 의존성 분포에 있어서 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도가 특정되어, 그 광강도를 기초로 배향 파라미터 S가 결정되고 있다. 이 경우, 적절한 각도의 강도값을 이용하여 배향 파라미터 S를 산출하므로, 보다 정확하게 배향 파라미터 S를 측정할 수 있다.

[0071] 이상, 여러 가지의 실시 형태에 대해 설명했지만, 실시 형태는 상기 실시 형태로 한정되는 것이 아니고, 각 청구항에 기재된 요지를 변경하지 않는 범위에서 변형하거나, 또는 다른 것에 적용한 것이어도 된다.

[0072] 상기 실시 형태의 배향 특성 측정 시스템(1)에 있어서는, 조사 광학계(5) 및 검출 광학계(11)에 광 파이버를 포함하고 있지만, 광 파이버로 한정하지 않고 렌즈 등의 다른 광학 소자를 포함하고 있어도 된다.

[0073] 또, 상기 실시 형태의 배향 특성 측정 시스템(1)에 있어서는, 분포 취득부(34)에 의해서 생성된 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$을 대상으로 극대 영역의 강도값을 특정하여, 이 강도값을 기초로 배향 파라미터 S를 산출하고 있지만, 광강도 분포 데이터 $I_N(\phi)$의 극소 영역 등의 다른 영역의 강도값을 기초로 배향 파라미터 S를 산출해도 된다.

[0074] 또, 상기 실시 형태의 배향 특성 측정 시스템(1)에 있어서는, 미리 기억해 둔 선형 관계를 특정하는 데이터를 기초로 배향 파라미터 S와 관련되는 값을 산출함으로써 배향 파라미터 S의 값의 범위를 좁히고, 좁힌 범위에 있어서의 시뮬레이션 계산에 의해서 얻어진 각도 의존성 분포와, 측정한 광강도 분포를 피팅함으로써 최종적인 배향 파라미터 S를 취득해도 된다.

[0075] 또, 파라미터 산출부(36)는 유저로부터 입력 장치(19)를 통해서 입력된 계측 대상의 재료층 S2의 막두께 및 그 재료층 S2의 굴절률에 관한 값을 기초로, 배향 파라미터 S의 산출에 이용되는 선형 관계를 나타내는 데이터를 산출해도 된다(결정 처리).

[0076] 종래 기술의 과제를 해결하기 위해, 본 발명자 등은 열심히 연구한 결과, 이하의 사실을 새롭게 찾아냈다.

[0077] 시료로부터 조사광의 조사에 따라서 발사되는 검출광의 강도의 각도 의존성의 시뮬레이션 결과를 정밀 조사했는데, 각도 의존성에 있어서 시료의 배향 파라미터에 의존하지 않는 등발광점이 존재하는 것을 알았다. 이 등발광점은 각도 의존성을 각도 제로의 강도값으로 규격화한 특성의 극대 영역에 상당하고, 이 극대 영역의 강도값은 배향 파라미터에 크게 관계하고 있고, 이 강도값을 기초로 배향 파라미터를 도출해낼 수 있다는 것을 새롭게 찾아냈다.

[0078] 상기 형태에 따른 배향 특성 측정 방법, 배향 특성 측정 프로그램, 혹은 배향 특성 측정 장치에 의하면, 조사광의 조사에 따라 시료로부터 발사되는 검출광의 강도를, 시료의 검출광 출사면의 수직선과 검출 광학계의 광축이 이루는 각을 변경하면서 측정함으로써, 검출광의 광강도의 각도 의존성 분포를 얻을 수 있다. 그리고, 광강도의 각도 의존성 분포를 이루는 각이 제로도의 값으로 규격화하고, 그 규격화된 광강도의 각도 의존성 분포에 있어서의 극대 영역의 광강도를 특정하고, 그 광강도와 미리 결정되는 선형 관계를 이용하여 배향 파라미터가 산출된다. 이것에 의해, 시뮬레이션 연산 등의 복잡한 연산을 필요로 하는 일 없이, 효율적인 연산에 의해 시료의 배향 파라미터를 간편하게 측정할 수 있다.

[0079] 상기 형태에 있어서는, 복수의 막두께와 복수의 굴절률의 조합마다 미리 기억된 복수의 선형 관계 중에서, 소정의 막두께 및 소정의 굴절률에 대응하는 선형 관계를 선택하는 선택 스텝을 추가로 구비해도 된다. 또, 컴퓨터에, 복수의 막두께와 복수의 굴절률의 조합마다 미리 기억된 복수의 선형 관계 중에서, 소정의 막두께 및 소정의 굴절률에 대응하는 선형 관계를 선택하는 선택 처리를 추가로 실행시켜도 된다. 또, 처리 장치는 복수의 막두께와 복수의 굴절률의 조합마다 미리 기억된 복수의 선형 관계 중에서, 소정의 막두께 및 소정의 굴절률에 대응하는 선형 관계를 선택하는 선택부를 추가로 가져도 된다. 이 경우, 추가로 간편한 연산에 의해 짧은 연산 시간에 배향 파라미터를 산출할 수 있다.

[0080] 또, 유저에 의해서 입력된 굴절률 및 막두께에 관한 파라미터를 기초로, 선형 관계를 결정하는 결정 스텝을 추가로 구비해도 된다. 또, 컴퓨터에, 유저에 의해서 입력된 굴절률 및 막두께에 관한 파라미터를 기초로, 선형 관계를 결정시키는 결정 처리를 추가로 실행시켜도 된다. 또, 유저에 의해서 입력된 굴절률 및 막두께에 관한 파라미터를 기초로, 선형 관계를 결정하는 결정부를 추가로 구비해도 된다. 이 경우, 적절한 선형 관계를 이용하여 배향 파라미터를 산출하므로, 보다 정확하게 배향 파라미터를 측정할 수 있다.

[0081] 또한, 특정 스텝에 있어서는, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도를 특정해도 된다. 또, 특정 처리에 있어서는, 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도를 특정해도 된다. 또, 특정부는 광강도가 극소가 되는 각도와 90도의 사이에 존재하는 극대치의 광강도를 특정해도 된다. 이 경우, 적절한 각도의 강도값을 이용하여 배향 파라미터를 산출하므로, 보다 정확하게 배향 파라미터를 측정할 수 있다.

[0082] [산업상의 이용 가능성]

[0083] 실시 형태는 배향 특성 측정 방법, 배향 특성 측정 프로그램, 및 배향 특성 측정 장치를 사용 용도로 하여, 효

율적인 연산에 의해 시료의 분자 배향 특성을 간편하게 측정할 수 있는 것이다.

부호의 설명

[0084] 1…배향 특성 측정 시스템 3…광원

5…조사 광학계 9…회전 기구(구동 기구)

11…검출 광학계 13…광검출기

15…컴퓨터(처리 장치) 31…광원 제어부

32…회전 기구 제어부(제어부) 33…검출 신호 취득부

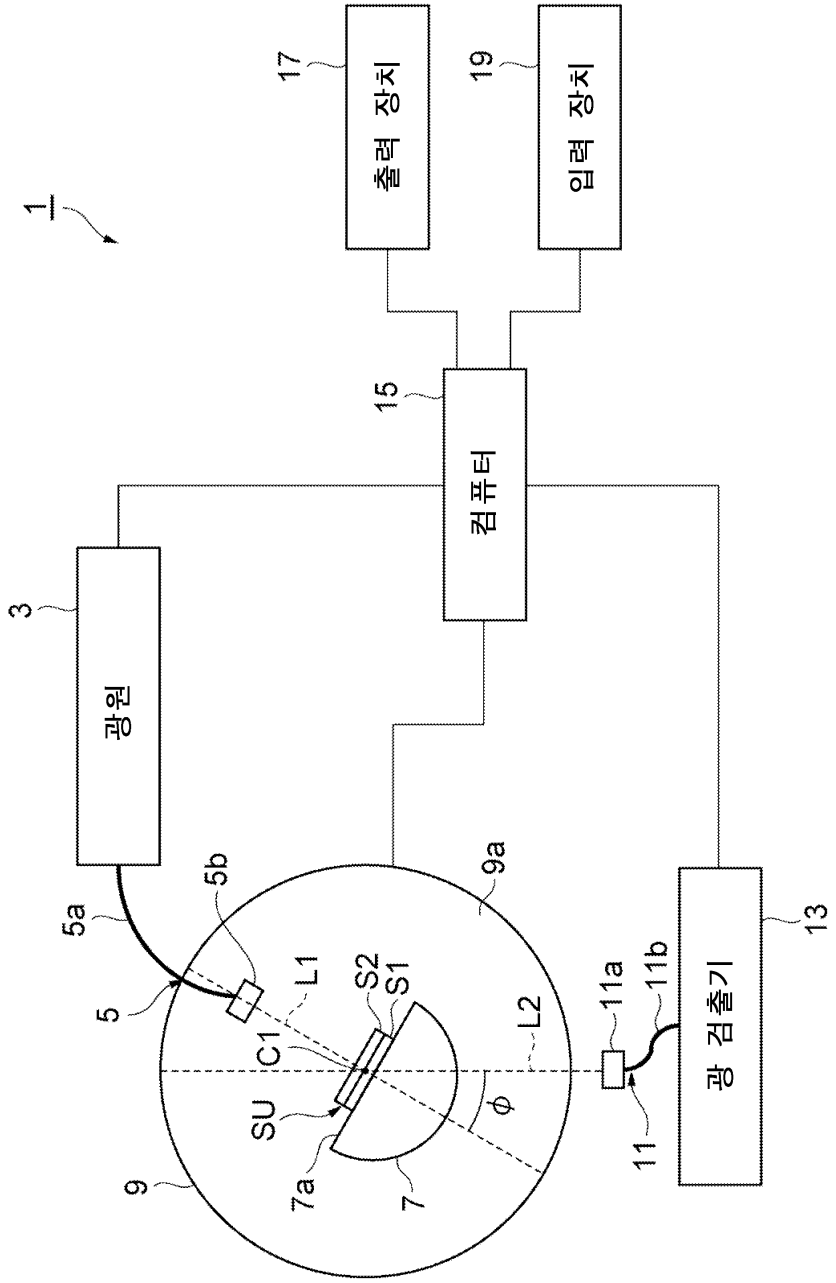
34…분포 취득부(취득부) 35…영역 특정부(특정부)

36…파라미터 산출부(산출부, 선택부, 결정부)

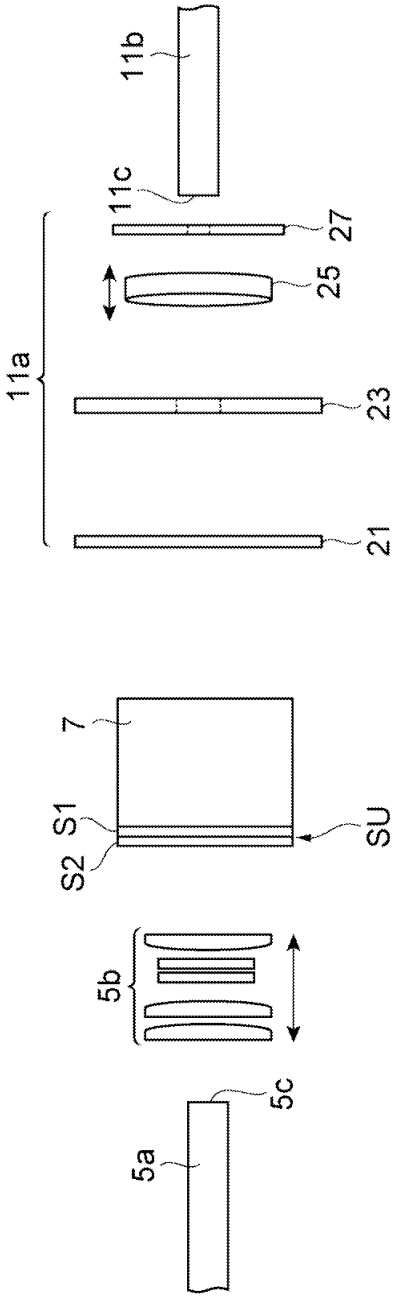
S1…투명성 기판 S2…재료층(시료)

도면

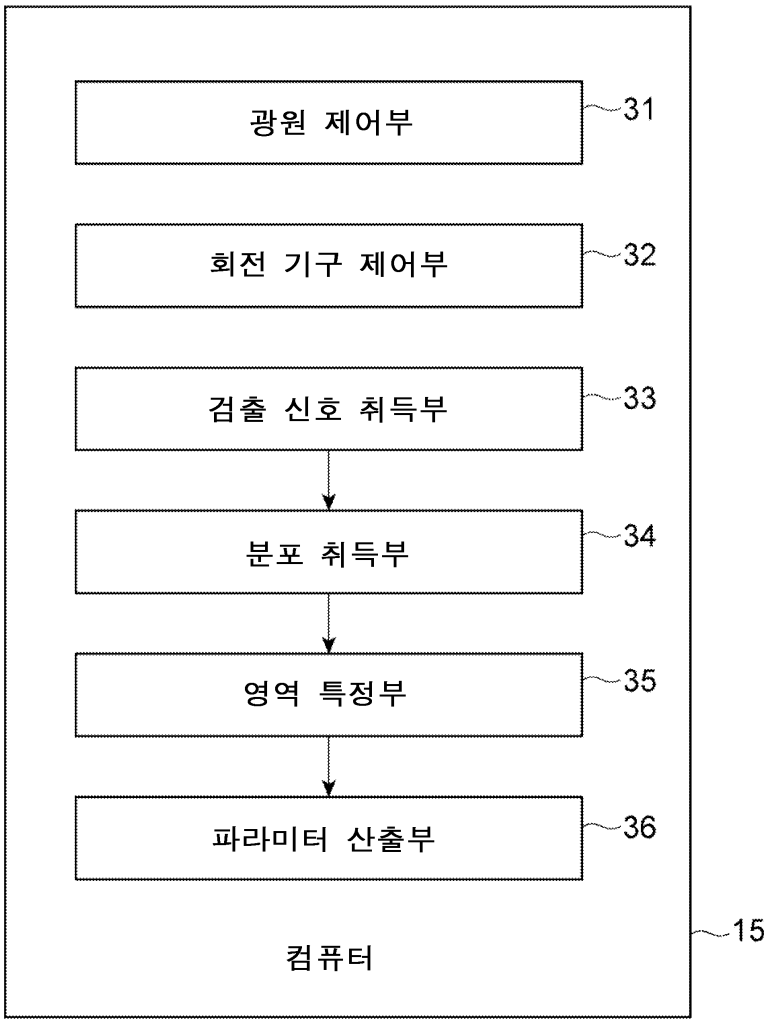
도면1


1
17
출력 장치
19
입력 장치
15
컴퓨터
3
광원
5a
5b
9a
5
L1
S2
S1
C1
L2
11a
11b
13
광 검출기
SU
ϕ
11
9
7a
7

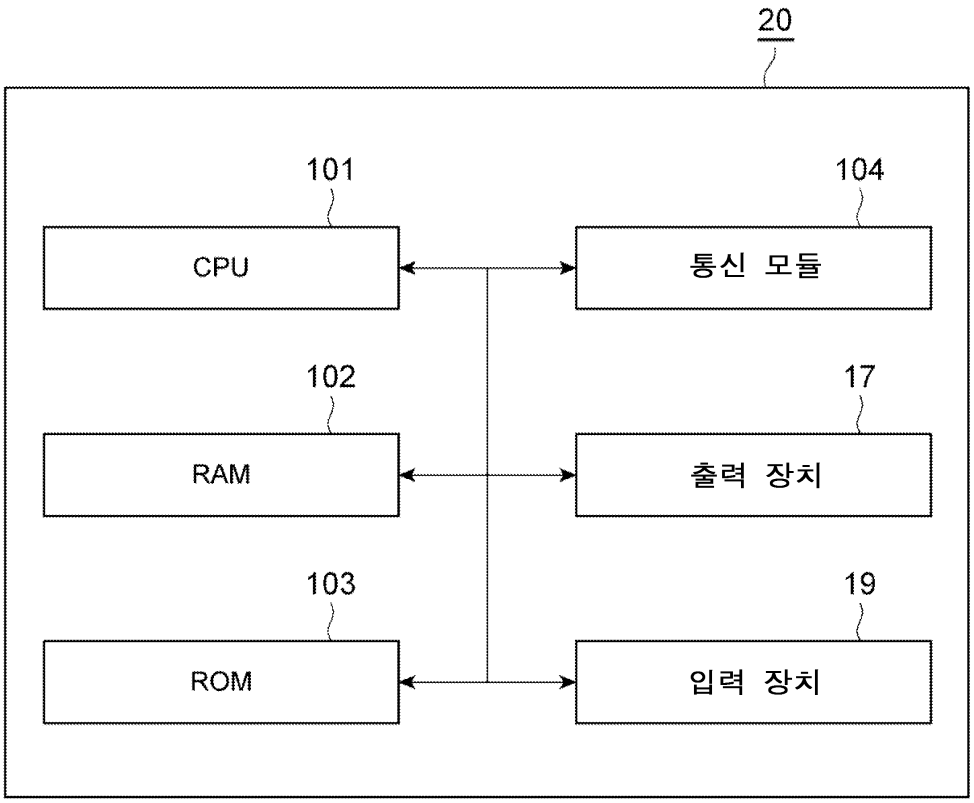
도면2



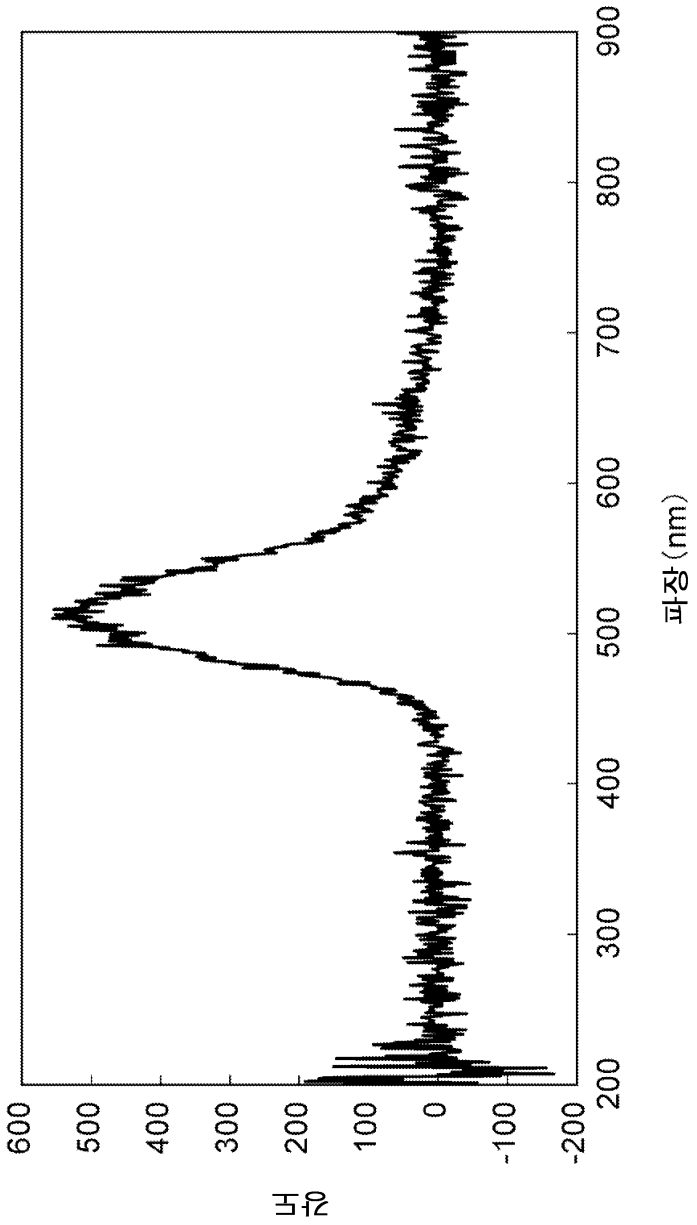
도면3


광원 제어부
31
회전 기구 제어부
32
검출 신호 취득부
33
분포 취득부
34
영역 특정부
35
파라미터 산출부
36
컴퓨터
15

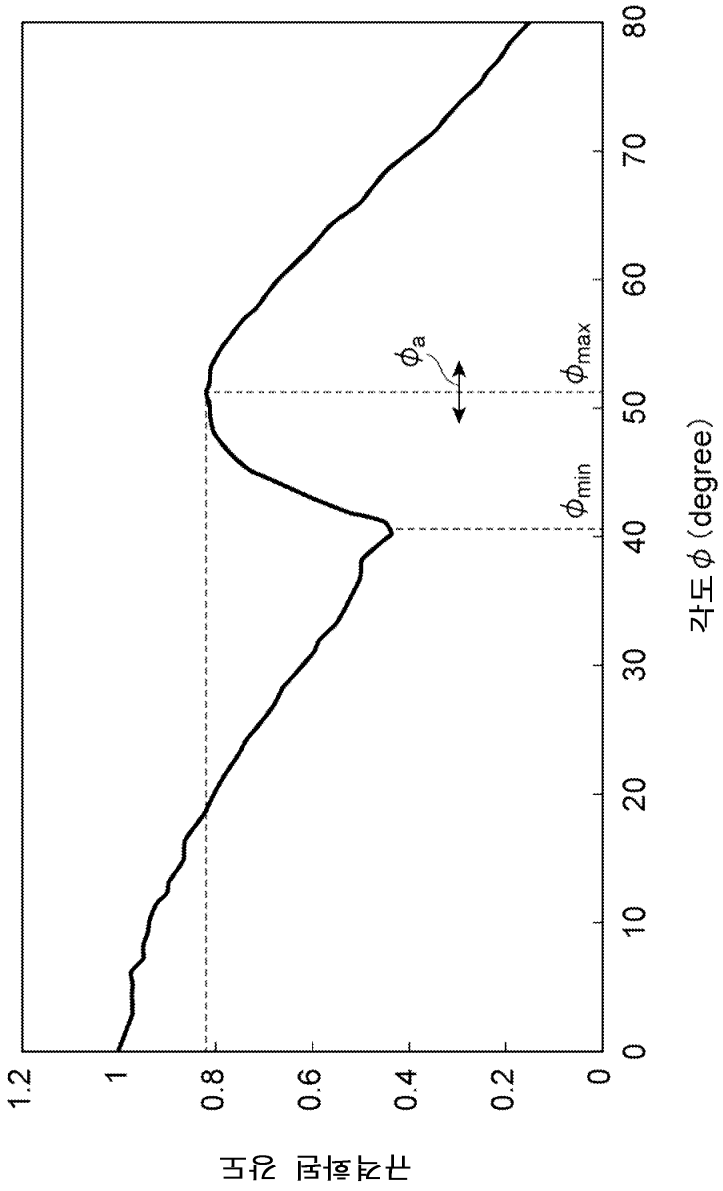
도면4



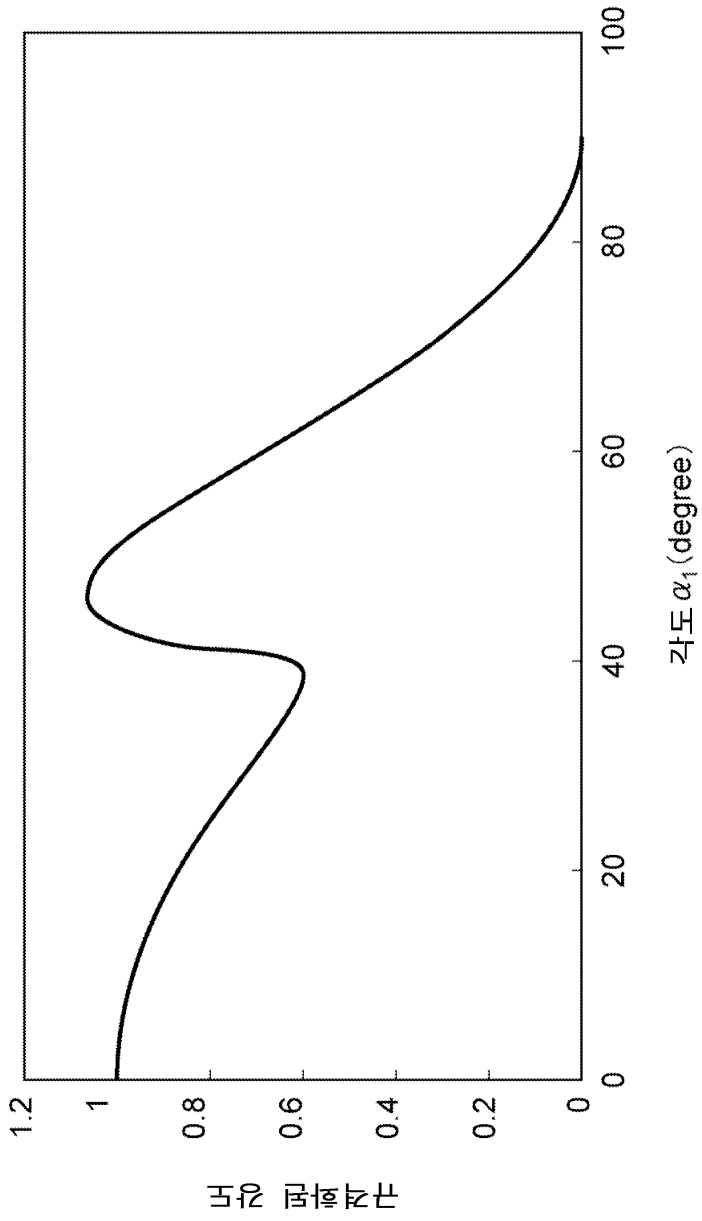
도면5


강도
600
500
400
300
200
100
0
-100
-200
200
300
400
500
600
700
800
900
파장(nm)

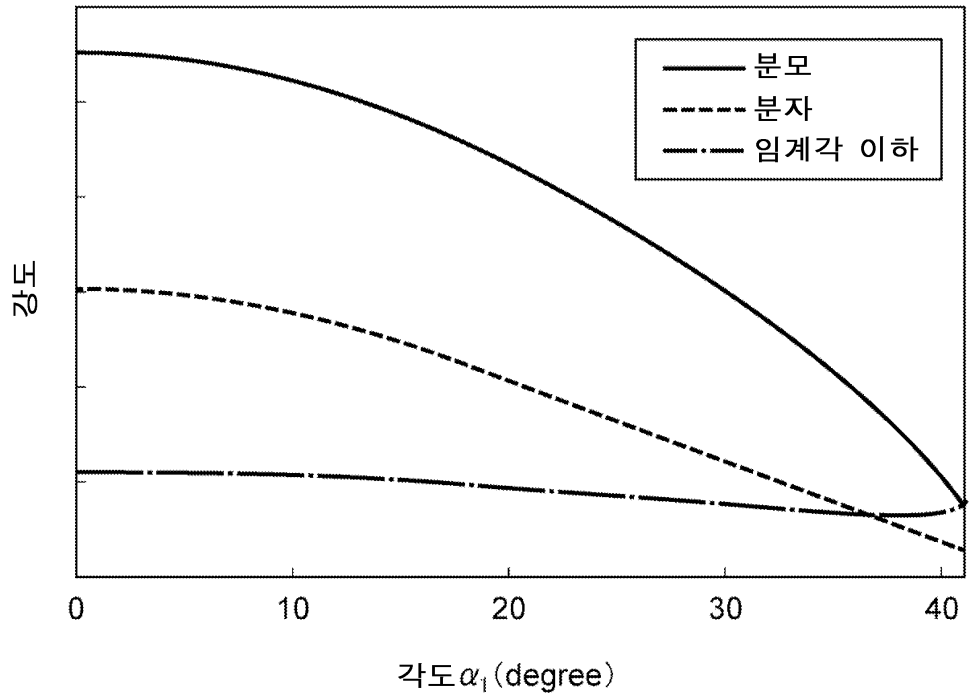
도면6


규격화된 강도
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
각도 ϕ (degree)
ϕmin
ϕmax
ϕa

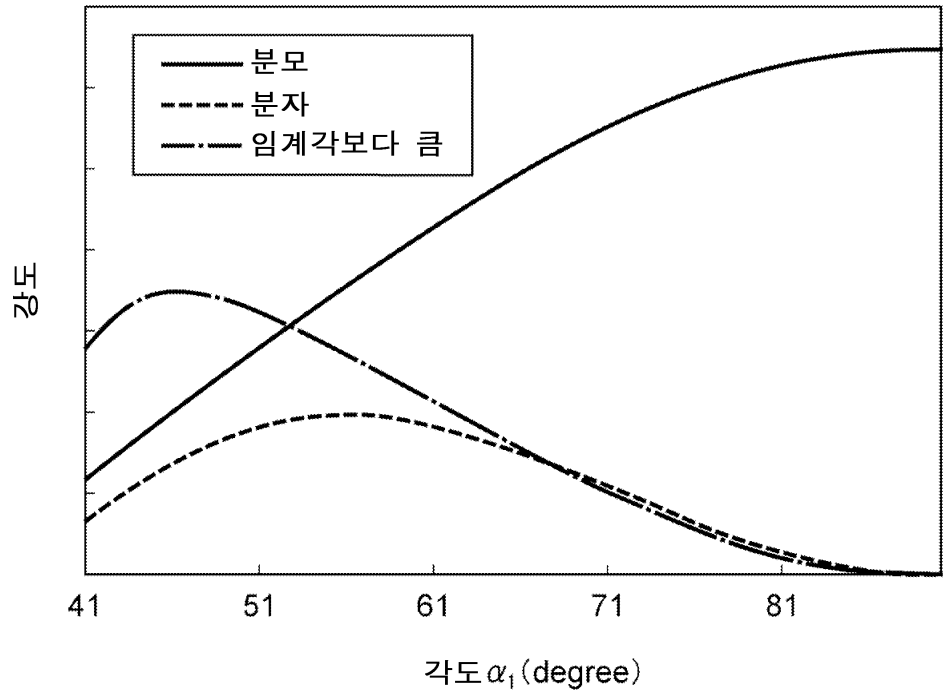
도면7



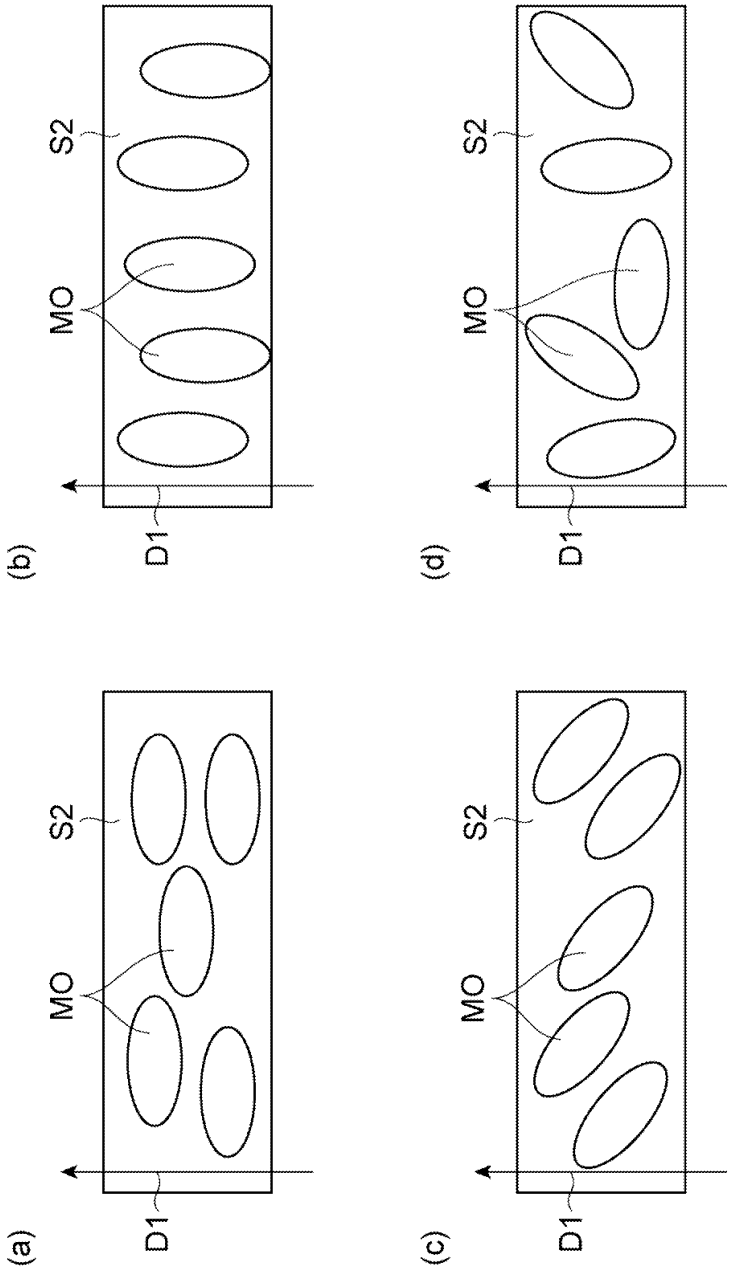
도면8


분모
분자
임계각 이하
강도
0
10
20
30
40
각도α_1(degree)

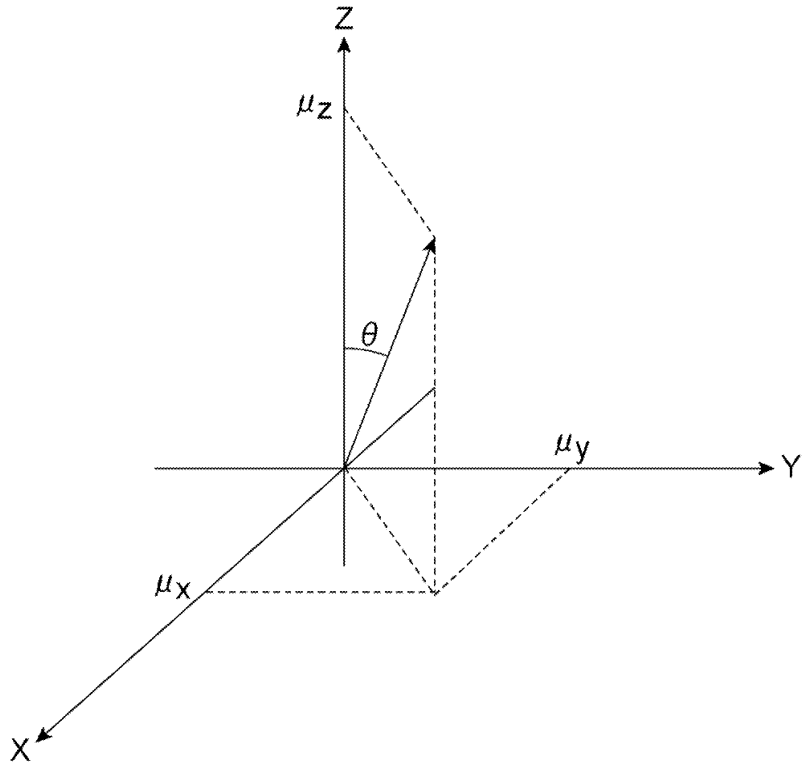
도면9


분모
분자
임계각보다 큼
강도
41
51
61
71
81
각도α_1(degree)

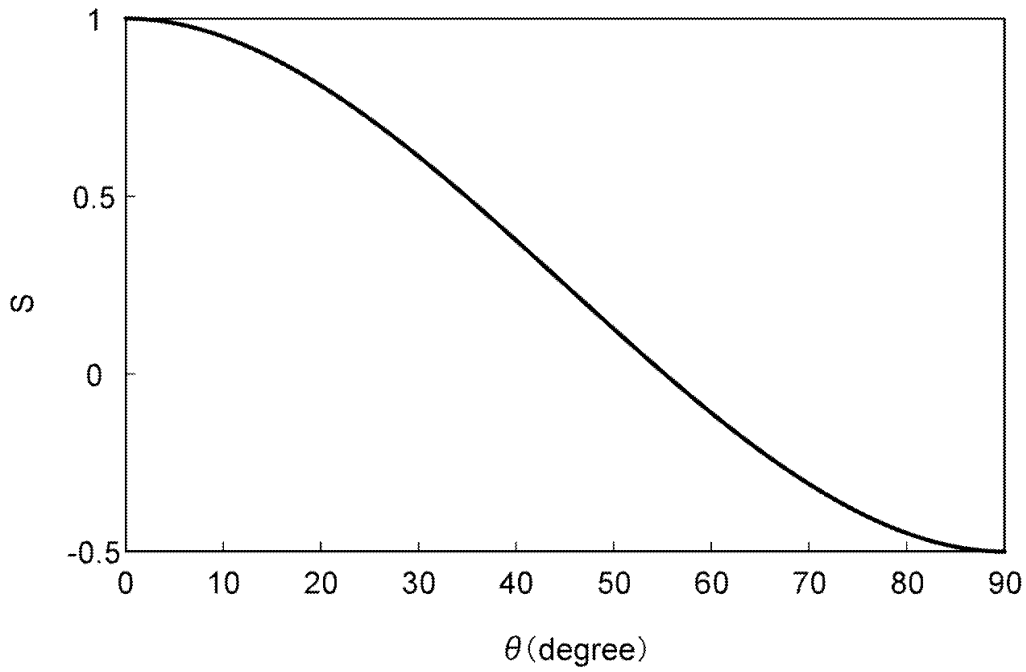
도면10



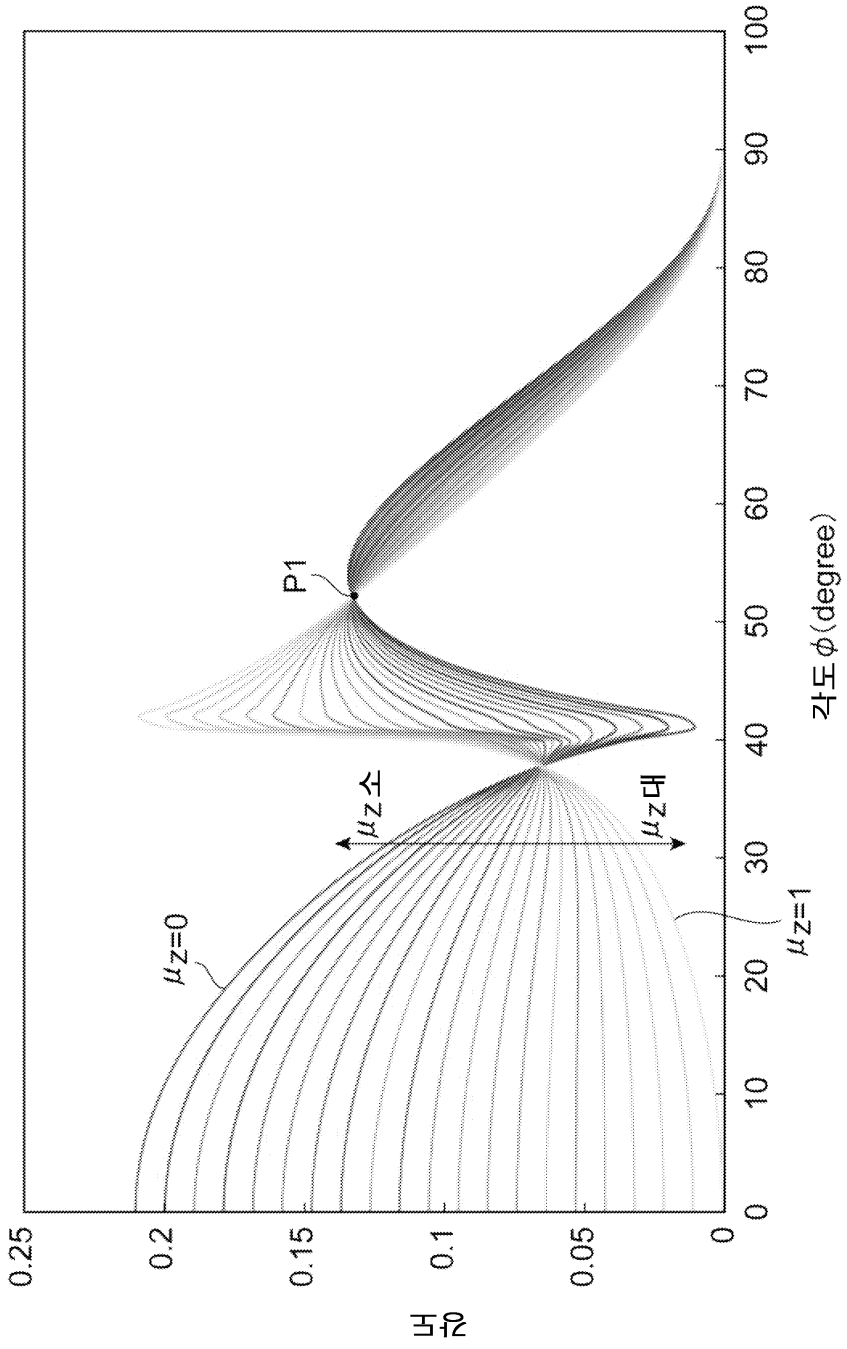
도면11


Z
μ_z
θ
μ_y
Y
μ_x
X

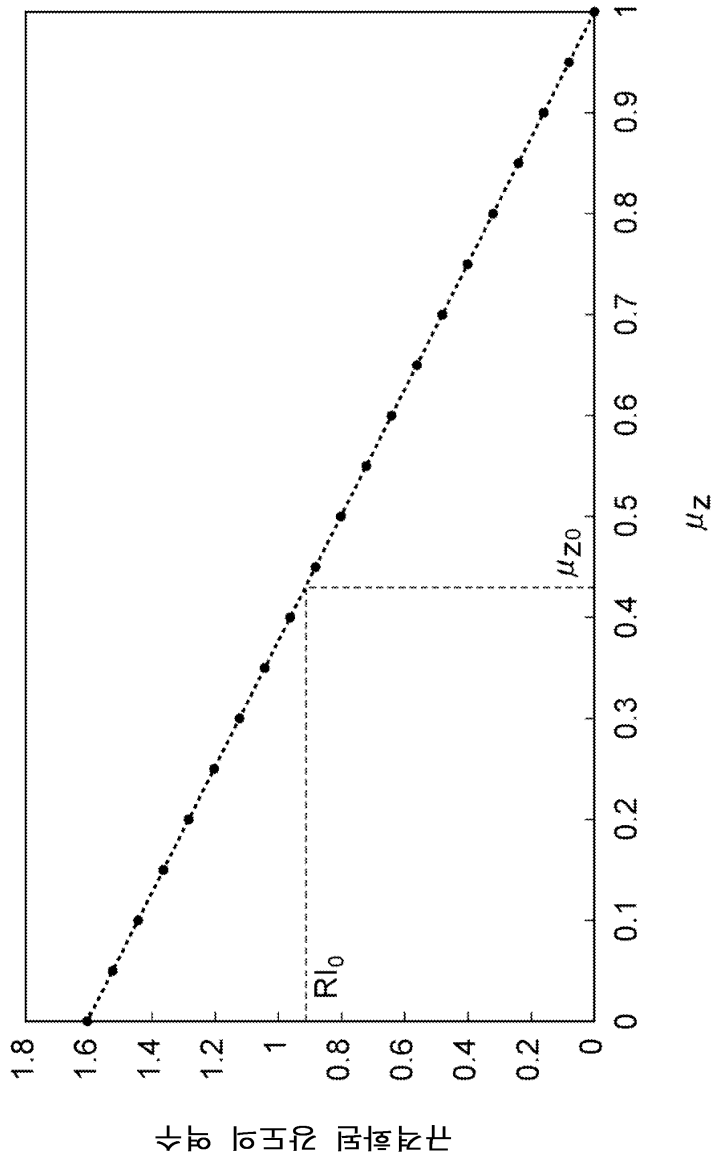
도면12


1
0.5
S
0
-0.5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
θ(degree)

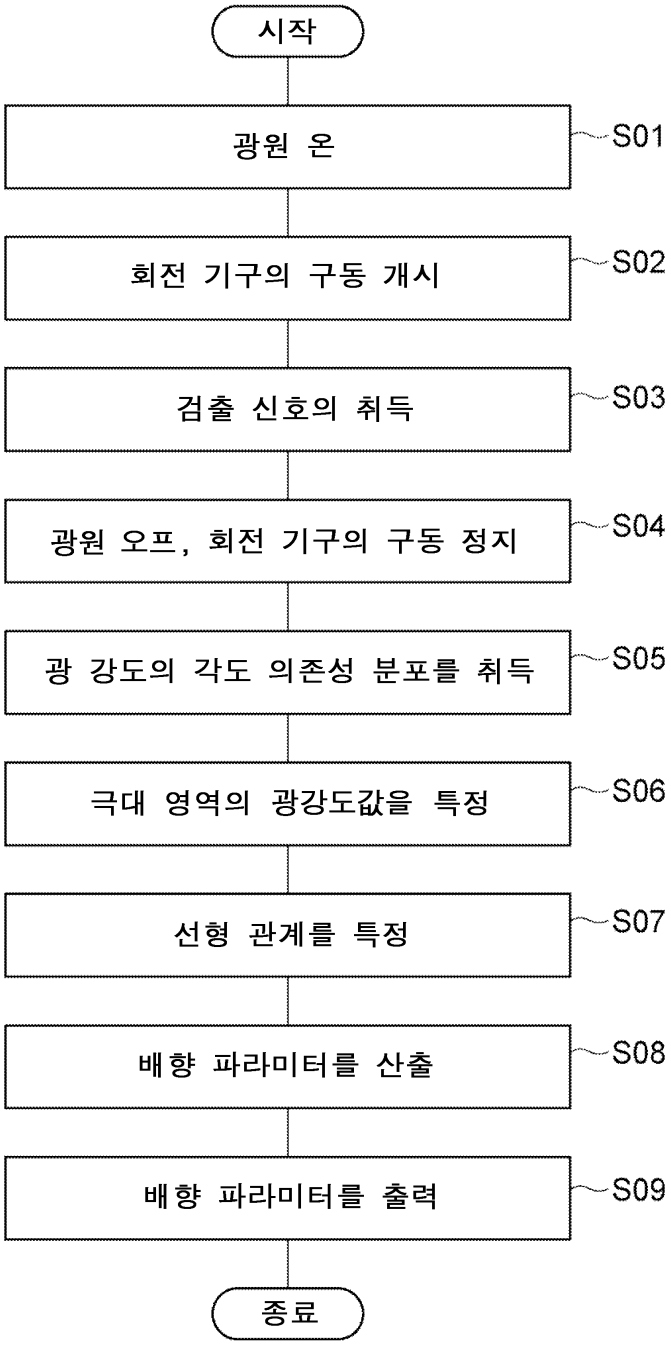
도면13


0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
강도
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
각도 ϕ(degree)
P1
μ_z=0
μ_z=1
μ_z 수
μ_z 대

도면14


규격화된 강도의 역수
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
RI0
μz0
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
μz

도면15


시작
광원 온
S01
회전 기구의 구동 개시
S02
검출 신호의 취득
S03
광원 오프, 회전 기구의 구동 정지
S04
광 강도의 각도 의존성 분포를 취득
S05
극대 영역의 광강도값을 특정
S06
선형 관계를 특정
S07
배향 파라미터를 산출
S08
배향 파라미터를 출력
S09
종료