



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년08월18일
(11) 등록번호 10-1545419
(24) 등록일자 2015년08월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/94 (2006.01) G01B 11/30 (2006.01)
G01N 21/27 (2006.01) G01N 21/35 (2014.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7021025
- (22) 출원일자(국제) 2012년02월01일
심사청구일자 2013년08월08일
- (85) 번역문제출일자 2013년08월08일
- (65) 공개번호 10-2013-0114242
- (43) 공개일자 2013년10월16일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2012/052206
- (87) 국제공개번호 WO 2012/108306
국제공개일자 2012년08월16일
- (30) 우선권주장
JP-P-2011-026884 2011년02월10일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
US20100235114 A1*
JP2008026190 A*
HOUSHMAND, Kaveh. 2008. Master Thesis.
University of Waterloo.*
SIEGEL, Peter H. et al. International journal
of infrared and millimeter waves, 2006.,
Vol.27, No.5, pages 631-655.*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
가부시카기이사 히다치 하이테크놀로지즈
일본국 도쿄도 미나토구 니시신바시 1초메 24-14
- (72) 발명자
아이꼬, 겐지
일본 312-8504 이바라끼켄 히따찌나카시 오아자
이찌게 882 가부시카기이사 히다치 하이테크놀로
지즈 나까사업소 내
다나카, 시게야
일본 312-8504 이바라끼켄 히따찌나카시 오아자
이찌게 882 가부시카기이사 히다치 하이테크놀로
지즈 나까사업소 내
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
장수길, 박충범, 이중희

전체 청구항 수 : 총 18 항

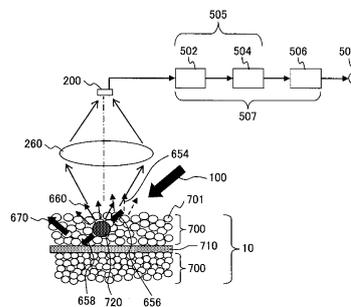
심사관 : 민정임

(54) 발명의 명칭 **이물 검출 장치 및 이물 검출 방법**

(57) 요약

본 발명은 전극 합체의 막 등, 대상물의 표면 또는 상기 대상물 중에 포함되는 이물을 검출하고 당해 검사 대상물의 신뢰성을 향상시키는 이물 검출 장치 및 이물 검출 방법을 제공하기 위한 것으로, 대상물에 테라헤르츠 조명광(100)(파장 4μm 내지 10mm)을 조사하고, 대상물의 예인 전극(10)으로부터의 산란광(660)을 산란광 검출기(200)로 신호로서 검출함으로써, 전극(10)의 표면 또는 전극(10) 중에 포함되는 이물, 예를 들어 금속 이물(720)을 검출한다. 여기서, 전극(10)은 집전체(710)의 양면에 활물질(701)과 도전 보조제와 바인더를 구성 요소로서 포함하는 전극 합체층(700)을 도포 시공한 것이며, 산란광(660)은 투과광(656)의 일부가 금속 이물(720)에서 반사되어 발생한 것이다.

대표도 - 도2a



(72) 발명자

아오끼, 야스꼬

일본 312-8504 이바라끼켄 히따찌나까시 오아자 이
찌게 882 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈
나까사업소 내

가와구찌, 히로시

일본 312-8504 이바라끼켄 히따찌나까시 오아자 이
찌게 882 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈
나까사업소 내

시무라, 게이

일본 312-8504 이바라끼켄 히따찌나까시 오아자 이
찌게 882 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈
나까사업소 내

명세서

청구범위

청구항 1

다입자의 구조체를 포함하는 대상물의 내부에 매립된 이물을 검출하는 이물 검출 장치로서,
상기 대상물에 조사하는 조명광을 발생하는 조명광 발생부와,
상기 대상물로부터의 산란광을 수광 소자를 사용하여 신호로서 검출하는 산란광 검출기를 포함하는 산란광 검출 광학계를 갖고,
상기 조명광의 파장은, 4 μ m 내지 10mm이고,
상기 산란광 검출 광학계는, 상기 대상물의 상기 조명광을 조사하는 면측으로서 상기 대상물의 내부에 있는 계면으로부터의 정반사광이 들어오지 않고 또한 상기 이물로부터의 산란광에 대하여 상기 다입자의 산란광이 가장 적어지는 각도에 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 대상물로부터의 상기 정반사광을 수광 소자를 사용하여 검출하는 정반사광 검출부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,
상기 산란광 검출 광학계에서 얻어진 상기 신호를 평활화하는 평활화 처리부와, 상기 평활화 처리부에서 평활화된 평활화 신호를 필터링하는 필터 처리부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 필터 처리부에서 얻어진 노이즈 제거 신호를 미분 처리하는 현재화 처리부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 5

제2항에 있어서,
상기 산란광 검출 광학계 및 상기 정반사광 검출부 중 적어도 어느 하나에서 얻어진 신호를 처리하는 헤테로다인과, 록 인 앰프를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 6

제2항에 있어서,
상기 산란광 검출 광학계 및 상기 정반사광 검출부 중 적어도 어느 하나에서 얻어진 신호를 처리하는 동기 검파부와, 록 인 앰프를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 7

제2항에 있어서,
상기 산란광 및 상기 정반사광 중 적어도 어느 한쪽의 파장을 변환하는 비선형 결정 소자를 더 포함하고,

상기 산란광 검출 광학계 및 상기 정반사광 검출부 중 적어도 어느 하나는, 적외·가시광 검출기를 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 조명광 발생부는, 펄스 레이저와 광전도 안테나 InGa 전왜(電歪) 소자를 조합한 것, 나노초 펄스 레이저와 비선형 결정 소자를 조합한 것, 테라헤르츠파를 발생하는 양자 캐스캐이드 레이저, 테라헤르츠파를 발생하는 쇼트키 배리어 다이오드, 건 다이오드 또는 턴네트(TUNNETT) 다이오드 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 9

제2항에 있어서,

상기 산란광 및 상기 정반사광의 초점 거리를 조절하는 초점 거리 조절부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 10

제2항에 있어서,

상기 산란광 검출 광학계 및 상기 정반사광 검출부 중 적어도 어느 하나는, 복수개의 센서를 배열한 1차원 센서 또는 2차원 센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 11

제2항에 있어서,

상기 정반사광 검출부에서 얻어진 신호로부터, 상기 대상물의 두께 또는 상기 대상물에 포함되는 이물의 깊이의 산출, 또는 상기 이물의 성분의 분석 또는 상기 대상물에 포함되는 수분의 검출을 행하는 분석부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 장치.

청구항 12

다입자의 구조체를 포함하는 대상물의 내부에 매립된 이물을 검출하는 이물 검출 방법으로서,

상기 대상물에 조명광을 조사하는 공정과,

상기 대상물로부터의 산란광을 산란광 검출 광학계에서 신호로서 검출하는 공정을 포함하고,

상기 조명광의 파장은, 4 μ m 내지 10mm이고,

상기 조명광의 파장은, 4 μ m 내지 10mm이고,

상기 산란광 검출 광학계는, 상기 대상물의 상기 조명광을 조사하는 면측으로서 상기 대상물의 내부에 있는 계면으로부터의 정반사광이 들어오지 않고 또한 상기 이물로부터의 산란광에 대하여 상기 다입자의 산란광이 가장 적어지는 각도에 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 이물 검출 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 산란광의 신호를 평활화하고, 필터링하는 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

필터링한 상기 신호를 미분 처리하는 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 방법.

청구항 15

제12항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 대상물로부터의 상기 정반사광을 검출하는 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 산란광 및 상기 정반사광 중 적어도 어느 한쪽의 파장을 변환하는 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 방법.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 산란광 및 상기 정반사광의 초점 거리를 조절하는 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 방법.

청구항 18

제15항에 있어서,

상기 정반사광을 검출하여 얻어진 신호로부터, 상기 대상물의 두께 또는 상기 대상물에 포함되는 이물의 깊이의 산출, 또는 상기 이물의 성분의 분석 또는 상기 대상물에 포함되는 수분의 검출을 행하는 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이물 검출 방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 이물 검출 장치 및 이물 검출 방법에 관한 것으로, 특히 원격외선 등을 사용한 이물 검출 장치 및 이물 검출 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 리튬 이온 이차 전지(LIB)는 최근 들어, 수요가 급격하게 성장하고 있다.
- [0003] 그러나, LIB를 제조할 때, 전지의 내부에 미소 금속 이물이 혼입되는 문제가 남아 있다. 이로 인해, 생산 공정에 있어서 금속 이물의 검출 정밀도를 높이는 것이 요망되고 있다.
- [0004] 일반적으로, 반도체 웨이퍼나 액정 기판 등의 표면에 부착된 미소 크기의 이물을 고감도로 검출하는 수단으로서, 다크 필드 구성(DF 구성)을 사용한 산란광을 검출하는 방법이 사용되고 있다.
- [0005] LIB의 부재의 하나인 전극 시트는, 활물질과 도전 보조제와 바인더를 포함하는 혼합물인 전극 합제를 집전체인 금속박에 도포 시공한 것이다. 이 전극 합제의 막에 혼입된 이물을 생산 공정에서 검사하는 경우, 막에 포함되는 미소 크기(수 μm 정도)의 금속 이물을 고감도로 검출하는 것을 요구받고 있다. 전지 재료 중, 정극 재료는, 일반적으로, 입자 직경이 수 μm 내지 막 두께와 동일 정도의 수십 μm 인 LiCoO_2 등을 구성 요소로 하고 있기 때문에, 가시광의 투과율이 0.1% 이하로 되어, 가시광을 사용하여 막 내 이물을 검출하는 것은 곤란하다.
- [0006] 특허문헌 1에는, 파장 50 μm 내지 2mm의 테라헤르츠 광을 지엽류에 대하여 조사하고, 지엽류의 표면 및 이면에서 반사되는 테라헤르츠 반사광을 검출하고, 검출한 테라헤르츠 반사광의 위상차에 의한 간섭의 강도를 검지하여 지엽류의 두께를 검출하는 지엽류의 검사 방법이 개시되어 있다.
- [0007] 특허문헌 2에는, 완전한 실시간 측정을 실현하는 것을 목적으로 하여, 펄스와 프로브 펄스 광을 비공축으로 하고, 테라헤르츠 시간 파형을 싱글 샷으로 측정하는 방법을 도입하고, 또한, 측정 대상물에 대하여 펄스를 선 집광의 상태로 조사하고, 검출기로서 2차원 이미징 디바이스를 사용함으로써 주사 기구가 불필요한 실시간 테라헤르츠·토포그래피 및 테라헤르츠 분광 이미징 장치가 개시되어 있다.
- [0008] 특허문헌 3에는, 피검사물의 고유한 편광축에 맞추어 편광자의 편광축을 바꾸고, 조사 수단으로부터의 광을 편광하여 피검사물에 조사하고, 검광자는, 편광축을 편광자의 편광축에 맞추고, 피검사물로부터의 투과광, 또는 반사광을 통하여 투과광의 변화, 또는 반사광의 변화를 광 검출 수단으로 검출함으로써, 피검사물의 결함을 검

출하는 결함 검사 장치가 개시되어 있다.

- [0009] 특허문헌 4에는, 파장 10 μ m 내지 1mm의 마이크로파를 사용하고, 피측정 대상면으로부터의 반사파를 검출함으로써, 금속의 표면 형상을 결정하는 표면 검사 장치가 개시되어 있다.
- [0010] 특허문헌 5에는, 분체 입자의 직경보다 파장이 충분히 긴 적외선을 분체 입자 내부에 투과시킴으로써, 분체 입자를 집합하여 구성한 피검체의 내부 구조를 조사하는 검사 방법이 개시되어 있다.
- [0011] 특허문헌 6에는, 파장 600 μ m 내지 3mm(0.5THz 내지 100GHz)의 펄스 형상 또는 연속된 서브테라헤르츠 전자파를 피검사물에 조사하고, 그 물질에 의한 전파 시간의 차 또는 투과율의 차를 이용하여 분립체 중의 이물 검사를 행하는 장치가 개시되어 있다.
- [0012] 비특허문헌 1에는, 각종 금속, 복합 산화물 등의 굴절률 및 흡수 계수의 파장 의존성이 기재되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 제2009-300279호 공보
- (특허문헌 0002) W02006/085403(일본 특허 출원 제2007-502543)
- (특허문헌 0003) 일본 특허 공개 제2006-78426호 공보
- (특허문헌 0004) 일본 특허 공개 제2005-214758호 공보
- (특허문헌 0005) 일본 특허 공개 제2001-141647호 공보
- (특허문헌 0006) 일본 특허 공개 제2001-66375호 공보

비특허문헌

- [0014] (비특허문헌 0001) <http://refractiveindex.info/>

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0015] 파장 400 내지 700nm 정도의 가시광으로부터 파장 1 μ m 부근의 적외광까지의 영역에 있어서는, 전극 합체의 막에 조사한 광의 대부분이 흡수된다. 또한, 파장 수 μ m의 근적외선의 영역에 있어서는, 활물질 입자에 의한 산란의 영향이 커서, 조사한 광을 투과시킬 수 없다.
- [0016] 본 발명의 목적은, 전극 합체의 막 등, 대상물의 표면 또는 상기 대상물 중에 포함되는 이물을 검출하여, 당해 대상물의 신뢰성을 향상시키는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0017] 본 발명은 대상물에 파장 4 μ m 내지 10mm의 조명광을 조사하고, 대상물로부터의 산란광을 신호로서 검출함으로써, 대상물의 표면 또는 상기 대상물 중에 포함되는 이물을 검출하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명에 따르면, 대상물에 파장 4 μ m 내지 10mm의 조명광을 조사하고, 그 대상물로부터의 산란광을 신호로서 검출함으로써, 당해 대상물의 표면 또는 상기 대상물 중에 포함되는 이물을 검출하여, 당해 대상물의 신뢰성을 향상할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 리튬 이온 이차 전지의 전극 합체층에 혼입된 이물의 검출 방법의 개요를 도시한 흐름도.

- 도 2a는 테라헤르츠파의 산란의 원리를 도시하는 모식도.
- 도 2b는 테라헤르츠파의 산란광의 분포를 도시하는 그래프.
- 도 3a는 투과율을 측정하는 시료를 도시하는 개략적인 단면도.
- 도 3b는 전극 합체층의 투과율의 파장 의존성을 도시하는 그래프.
- 도 4a는 조사된 광이 계면에서 반사 또는 투과될 때의 상태를 도시하는 개념도.
- 도 4b는 조명광을 조사한 금속 입자로부터의 산란광 강도를 시뮬레이션에 의해 산출하기 위한 조건을 도시하는 구성도.
- 도 4c는 금속 입자의 입경에 대한 산란광 강도의 파장 의존성을 도시하는 그래프.
- 도 5는 활물질 및 금속 입자의 입경 및 굴절률을 고려한 산란광 강도를 도시하는 그래프.
- 도 6a는 이물 검출 장치의 광학계를 도시하는 개략적인 구성도.
- 도 6b는 산란광 검출기에 의해 측정된 산란광의 분포를 도시하는 그래프.
- 도 6c는 정반사광 검출기에 의해 측정된 정반사광의 분포를 도시하는 그래프.
- 도 7은 이물 검사 장치의 감도를 향상하기 위한 회로를 도시하는 구성도.
- 도 8a는 이물 검사 장치에 의한 검출을 고속화하기 위한 광학계를 도시하는 개략적인 구성도.
- 도 8b는 정반사광 강도와 막 두께 및 이물 깊이의 관계를 도시하는 설명도.
- 도 8c는 정반사광 강도의 분포로부터 막 두께를 산출하는 방식을 도시하는 모식도.
- 도 9a는 수분 분석 기능 및 이물 성분 분석 기능을 갖는 이물 검사 장치를 도시하는 개략적인 구성도.
- 도 9b는 조명광의 주파수 분포를 도시하는 그래프.
- 도 9c는 이물의 스펙트럼을 도시하는 그래프.
- 도 9d는 수분의 스펙트럼을 도시하는 그래프.
- 도 10a는 산란광의 검출을 1차원 센서에 의해 행하는 이물 검사 장치를 도시하는 개략적인 구성도.
- 도 10b는 산란광의 검출을 2차원 센서에 의해 행하는 이물 검사 장치를 도시하는 개략적인 구성도.
- 도 11은 이물 검사 장치의 회로 구성을 도시하는 블록도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 본 발명은 대상물로서, 특히, 원적외선 등을 투과하는 입자로 형성된 다입자 구조체(전극 합체층 등)에 혼입된 이종 이물(금속 등)을 검출하기 위한 검출 장치 및 검출 방법에 관한 것이다.
- [0021] 활물질 등의 복합 산화물을 투과하는 테라헤르츠파를 조명광으로서 사용하고, 이 테라헤르츠파를, 대상물로서의 금속 이물을 포함하는 전극 재료막(전극 합체층)에 DF 구성으로 조사하면, 금속 이물로부터 산란광(복합 산화물을 투과한 테라헤르츠파가 금속 이물에 맞닿아서 난반사된 광임)이 발생한다. 그 산란광을 검출함으로써 이물을 검출할 수 있다. 즉, 원적외선에 속하는 테라헤르츠파를 사용하면, 활물질 입자에 의한 산란의 영향이 작아져, 투과율도 수십%가 되고, 막 내의 금속 이물로부터의 산란광을 검출할 수 있게 된다.
- [0022] 바람직하게는, 그 산란광을 포착하는 산란광 검출 광학계를 전극 재료막의 상방에 배치함으로써, 그 산란광을 효율적으로 검출할 수 있다.
- [0023] 이하, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 이물 검출 장치 및 이물 검출 방법에 대하여 설명한다.
- [0024] 또한, 본 명세서에 있어서, 이물 검출 장치를 이물 검사 장치, 이물 검출 방법을 이물 검사 방법이라고도 한다.
- [0025] 상기 이물 검출 장치는, 대상물의 표면 또는 상기 대상물 내의 이물을 검출하는 이물 검출 장치로서, 대상물에 조사하는 조명광을 발생하는 조명광 발생부와, 대상물로부터의 산란광을 수광 소자를 사용하여 신호로서 검출하는 산란광 검출부를 포함하고, 조명광의 파장은, 4㎜ 내지 10㎜인 것을 특징으로 한다. 또한, 대상물의 표면

또는 상기 대상물 중에 포함되는 이물에는, 대상물의 표면 또는 상기 대상물 중에 포함되는 이물뿐만 아니라, 대상물의 표면 및 상기 대상물 중에 포함되는 이물도 포함되는 것으로 한다.

- [0026] 여기서, 산란광은, 조명광이 대상물을 투과하는 과정에서 산란한 광 및 대상물에 포함되는 이물에 의해 난반사된 광을 포함하는 것으로 한다.
- [0027] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치는, 또한, 대상물로부터의 정반사광을 수광 소자를 사용하여 검출하는 정반사광 검출부를 포함한다.
- [0028] 여기서, 정반사광이란, 조명광이 대상물에 입사되는 각도인 조명광 양각과 동일한 각도로 반사된 광을 말한다. 단, 정반사광을 검출할 때의 광학계의 개구각의 범위 내에 있는 광을 포함하는 것으로 한다.
- [0029] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치는, 또한, 산란광 검출부에서 얻어진 신호를 평활화하는 평활화 처리부와, 이 평활화 처리부에서 평활화된 평활화 신호를 필터링하는 필터 처리부를 포함한다.
- [0030] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치는, 또한, 필터 처리부에서 얻어진 노이즈 제거 신호를 미분 처리하는 현재화 처리부를 포함한다.
- [0031] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치는, 또한, 산란광 검출부 및 정반사광 검출부 중 적어도 어느 하나에서 얻어진 신호를 처리하는 헤테로다인과, 록 인 앰프를 포함한다.
- [0032] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치는, 또한, 산란광 검출부 및 정반사광 검출부 중 적어도 어느 하나에서 얻어진 신호를 처리하는 동기 검파부와, 록 인 앰프를 포함한다.
- [0033] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치는, 또한, 산란광 및 정반사광 중 적어도 어느 한쪽의 파장을 변환하는 비선형 결정 소자를 포함하고, 산란광 검출부 및 정반사광 검출부 중 적어도 어느 하나는, 적외·가시광 검출기를 포함한다.
- [0034] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치에 있어서, 조명광 발생부는, 펄스 레이저와 광전도 안테나 InGa 전왜(電歪) 소자를 조합한 것, 나노초 펄스 레이저와 비선형 결정 소자를 조합한 것, 테라헤르츠파를 발생하는 양자 캐스케이드 레이저, 테라헤르츠파를 발생하는 쇼트키 배리어 다이오드, 건 다이오드 또는 턴테트 다이오드를 포함한다.
- [0035] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치에 있어서, 테라헤르츠파의 파장은, 4 μ m 내지 10mm이다.
- [0036] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치는, 또한, 산란광 및 정반사광의 초점 거리를 조절하는 초점 거리 조절부를 포함한다.
- [0037] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치에 있어서, 산란광 검출부 및 정반사광 검출부 중 적어도 어느 하나는, 복수개의 센서를 배열한 1차원 센서 또는 2차원 센서를 포함한다.
- [0038] 바람직하게는, 상기 이물 검출 장치는, 또한, 정반사광 검출부에서 얻어진 신호로부터, 대상물의 두께 또는 대상물에 포함되는 이물 깊이의 산출, 또는 이물 성분의 분석 또는 대상물에 포함되는 수분의 검출을 행하는 분석부를 포함한다.
- [0039] 상기 이물 검출 방법은, 대상물의 표면 또는 상기 대상물 내의 이물을 검출하는 이물 검출 방법으로서, 대상물에 조명광을 조사하는 공정과, 대상물로부터의 산란광을 신호로서 검출하는 공정을 포함하고, 조명광의 파장은, 4 μ m 내지 10mm인 것을 특징으로 한다.
- [0040] 바람직하게는, 상기 이물 검출 방법은, 또한, 산란광의 신호를 평활화하고, 필터링하는 공정을 포함한다.
- [0041] 바람직하게는, 상기 이물 검출 방법은, 또한, 필터링한 신호를 미분 처리하는 공정을 포함한다.
- [0042] 바람직하게는, 상기 이물 검출 방법은, 또한, 대상물로부터의 정반사광을 검출하는 공정을 포함한다.
- [0043] 바람직하게는, 상기 이물 검출 방법은, 또한, 산란광 및 정반사광 중 적어도 어느 한쪽의 파장을 변환하는 공정을 포함한다.
- [0044] 바람직하게는, 상기 이물 검출 방법은, 또한, 산란광 및 정반사광의 초점 거리를 조절하는 공정을 포함한다.
- [0045] 바람직하게는, 상기 이물 검출 방법은, 또한, 정반사광을 검출하여 얻어진 신호로부터, 대상물의 두께 또는 대상물에 포함되는 이물 깊이의 산출, 또는 이물 성분의 분석 또는 대상물에 포함되는 수분의 검출을 행하는 공정

을 포함한다.

- [0046] 이하, 본 발명의 실시예에 대하여 도면을 참조하여 설명한다.
- [0047] 도 1은, 리튬 이온 이차 전지(LIB)의 전극 합제층 중에 매립된 금속 이물을 검출하는 방법의 개요를 도시한 것이다.
- [0048] 대상물인 전극 합제층 중에 매립된 금속 입자 등의 이물(이하, 금속 이물이라고도 칭함)의 검출을 고감도로 행한다는 목적을 위해서는, 금속 이물로부터의 산란광을 검출하는 방식이 유효한 수단이다. 이 방식에 있어서는, 조건으로서, 전극 합제층에 포함되는 활물질을 투과하는 조명광(전자파)이 필요하다.
- [0049] LIB의 전극에 사용하는 활물질의 입경은, 대략 1 내지 30 μm 정도이다. 이에 비해, 검출의 대상으로 되는 금속 이물의 입경은, 활물질과 동일 정도인 10 μm 로부터 일반적인 합제층의 두께(막 두께)인 80 μm 까지의 범위이다. 전형적인 예로서는, 활물질의 입경이 약 10 μm 이며 금속 이물의 입경이 약 30 μm 인 경우이다. 단, 검출의 대상으로 되는 금속 이물의 입경은, 막 두께나 활물질의 입경에 의존하기 때문에, 상기한 범위에 한정되는 것이 아니라, 예를 들어 원적외선을 투과하는 입자의 집합체에 혼입된 금속 입자 등의 이물을 검출 가능한 범위이면 된다.
- [0050] 본 도면에 있어서는, 대상물에 조사된 조명광의 경로는, 4개로 분류된다. 즉, [I] 활물질(전극 합제층)을 투과하는 광으로서 금속 이물에 도달하는 광, [II] 조명광의 일부로서 활물질(전극 합제층)의 상면에서 반사되는 광, [III] 금속 이물의 표면에서 반사하여 산란되는 광, 및 [IV] 활물질(전극 합제층)을 투과하는 광으로서 집전체(금속판)에서 정반사되는 광이다.
- [0051] 이러한 조건 하에서 활물질을 투과하는 파장의 조명광을 사용하여 금속 이물로부터의 산란광을 발생시킬 수 있으면, 활물질 중의 금속 입자(금속 이물)로부터의 산란광을 검출할 수 있다. 이 금속 입자로부터의 산란광이 산란광 검출부에 들어가면 신호 S로 된다.
- [0052] 한편, 활물질로부터의 반사광이 산란광 검출기에 들어가면 불필요한 신호(노이즈 N)로 된다. 후술하지만, 입자가 미소 크기로 되는 경우에는, 신호 S가 감소하여, 활물질로부터의 반사·산란광의 신호(노이즈 N)와의 구별이 곤란해진다. 이 경우에는, 바람직하게는, 활물질로부터의 산란광에 포함되는 이물 검출 감도를 저하시키는 노이즈 N을, 저감시키도록 하면 된다.
- [0053] 노이즈 N을 저감하기 위한 바람직한 형태로서는, 금속 입자를 검출할 때, 산란광 검출부로부터 취출할 수 있는 검출 신호비, 즉, S/N의 비율을 사용하여 검출 감도를 정하는 조건이면 좋다. 상기에 있어서 금속 입자로부터 반사되지 않는 광은, 또한 활물질을 투과한 후에 집전체에서 정반사된다. 이 정반사광을 통상은 검출하지 않는 연구를 하고 있다. 예를 들어, 이 정반사광을 검출하지 않도록, 산란광 검출기를 배치하도록 하고 있다.
- [0054] 파장이 긴 전자파의 경우, 일반적으로, 물질의 투과율이 높아지는 성질을 갖기 때문에, 입자 직경으로부터 수십 배의 파장의 전자파가 산란 검출용 조명광의 조건이 된다. LIB의 경우, 활물질의 크기(입경)의 10배 정도의 파장을 갖는 전자파(파장 수백 μm)는 원적외선의 파장대로부터 테라헤르츠파라고 불리는 파장대까지의 영역에 포함되고, 산란광 검출 방식으로 이물 검출을 하는 경우의 조명광의 후보로 할 수 있다.
- [0055] 일반적으로, 테라헤르츠파란, 주파수 1THz(파장 300 μm) 전후의 전자파를 말하고, 0.1THz 내지 10THz의 주파수대(파장 30 μm 내지 3000 μm (3mm)) 또는 주파수 0.3THz 내지 3THz의 주파수대(파장 100 μm 내지 1000 μm (1mm))를 말한다.
- [0056] 활물질이나 이물의 입경이 상기한 입경과 상이한 경우에도, 파장을 변경함으로써, 마찬가지로 현상 및 효과가 성립되는 것은 추정할 수 있다. 예를 들어, 입경이 서브 마이크로 미터 오더 내지 수 μm 인 경우에는, 원적외광(파장 4 μm 내지 100 μm)을 적용할 수 있다. 또한, 입경이 수백 μm 내지 1mm인 경우에는, 밀리미터파(파장 1mm 내지 10mm)가 유효하다. 따라서, 파장이 변경되어도 마찬가지로 효과를 기대할 수 있는 경우에는, 본 명세서에 있어서는, 「테라헤르츠파」 또는 「테라헤르츠 조명광」이라는 용어를, 상기한 원적외광 및 밀리미터파의 영역도 포함하는 용어로서 사용하고 있다.
- [0057] 도 2a는, 테라헤르츠파의 산란의 원리를 도시하는 모식도이며, LIB의 전극에 테라헤르츠파를 조사한 경우를 도시한 것이다.
- [0058] 본 도면에 있어서, 전극(10)은 집전체(710)(통상은 금속박막)의 양면에 활물질(701)과 도전 보조제와 바인더를 구성 요소로서 포함하는 전극 합제층(700)을 도포 시공한 것이다. 전극 합제층(700)에는, 금속 이물(720)이 혼입되는 경우가 있다. 전극(10)의 상방에는, 집광 렌즈 등으로 구성된 검출 광학부(260) 및 산란광 검출기(20

0)가 설치되어 있다.

- [0059] 전극(10)에 사방으로부터 테라헤르츠 조명광(100)(테라헤르츠파라고도 칭하고, 100이라고도 표기함)을 조사하면, 전극 합계층(700)을 투과하는 투과광(656) 및 전극 합계층(700)의 상면에서 반사되는 반사광(654)이 발생한다. 그리고, 투과광(656)의 일부는, 금속 이물(720)에서 반사되어, 산란광(660)이 된다. 또한, 금속 이물(720)에 조사되지 않은 투과광(658)은 집전체(710)에서 반사되어, 정반사광(670)이 된다. 산란광(660)은 검출 광학부(260)에 의해 집광되어, 산란광 검출기(200)에 의해 검출된다.
- [0060] 또한, 테라헤르츠 조명광(100)을 발생하는 광원(조명광 발생부)의 예로서는, 펄드초 펄스 레이저와 광전도 안테나 InGa 전왜 소자를 조합한 것, 나노초 펄스 레이저와 비선형 결정으로 형성된 변환 소자(비선형 결정 소자)를 조합한 것, 테라헤르츠파를 발생하는 양자 캐스캐이드 레이저(QCL), 테라헤르츠파를 발생하는 쇼트키 배리어 다이오드(SBD), 건 다이오드, 턴네트(TUNNETT) 다이오드 등을 들 수 있다.
- [0061] 산란광 검출기(200)에 의해 검출되어 전기 신호로 된 산란광 신호는, 노이즈를 제거하는 신호 변환부(507)로 보내진다. 산란광 신호는, 통상, 전위차로서 검출된다. 신호 변환부(507)에는, 산란광 신호를 수신하고, 산란광 신호에 포함되는 노이즈 N을 처리하는 노이즈 처리부(505)와, 노이즈 처리부(505)를 통과하여 노이즈 N이 제거된 신호를 미분 처리하는 현재화 처리부(506)가 설치되어 있다.
- [0062] 노이즈 처리부(505)에는, 산란광 신호를 평활화하는 평활화 처리부(502)와, 평활화 처리부(502)에서 평활화된 신호를 필터링하는 필터 처리부(504)가 설치되어 있다. 필터 처리부(504)에서는, 미리 계산이나 실측에 의해 구한 설정값(임계값)을 준비해 두고, 평활화 처리부(502)로부터 보내진 신호 중 이 설정값보다도 낮은 검출값을 노이즈 N이라고 판별하여 0(영)이라고 간주하고, 노이즈 N을 제거한다. 신호 변환부(507)를 통과한 신호 S는, 출력(500)이 된다.
- [0063] 또한, 현재화 처리부(506)는 설치한 쪽이, 신호 S가 현재화되기 쉬워지기 때문에 바람직하지만, 설치하지 않아도 된다.
- [0064] 여기서, 노이즈 처리부(505)에 의한 노이즈 처리에 대하여 간단하게 설명한다.
- [0065] 노이즈의 발생 요인으로서, 크게 구별하면 2개로 구분된다. 하나는, 장치 외부로부터 내부로 혼입되어 오는 불필요한 신호로서의 외부 발생 노이즈이다. 다른 하나는, 장치 내부에서 발생하는, 예를 들어 회로의 내부에서 발생하는 불필요한 신호로서의 내부 발생 노이즈이다.
- [0066] 외부 발생 노이즈로서의 일반적인 고주파의 외란 노이즈에서는, 날카로운 스파이크 형상으로 되어 있는 노이즈의 비율이 많다. 그로 인해, 평활화 처리부(502)를 설치한다. 이 평활화 처리부(502)에 의해 외부 발생 노이즈를 평활화 처리할 수 있어, 적극적인 노이즈 대책으로서 효과를 발휘할 수 있다. 평활화 처리부(502)로서는, 페라이트 코어 등을 일례로서 들 수 있다.
- [0067] 한편, 내부 발생 노이즈의 발생 요인은 여러가지 있지만, 그 대표적인 하나로 열잡음 등이 있고, 일반적으로 주파수 대역(레인지)은 광대역에 걸쳐 있다. 그로 인해, 필터 처리부(504)를 설치한다. 이 필터 처리부(504)는 내부 발생 노이즈를 검출하는 조건이나 샘플링 주기의 한정 조건으로부터 신호 대역을 한정하는 밴드 패스 필터로서 기능하고, 그 이외의 대역의 노이즈를 저감할 수 있어, 필터링에 의한 노이즈 저감의 효과를 높일 수 있다.
- [0068] 테라헤르츠 조명광(100) 중, 전극 합계층(700)을 투과한 것은, 집전체(710)의 표면에서 반사되어 정반사광(670)이 된다.
- [0069] 전극 합계층(700)(막)에 금속 이물(720)(금속 입자)이 포함되는 경우, 테라헤르츠 조명광(100)의 투과광의 일부는, 막 내의 금속 이물(720)에서 반사되어, 산란광(660)이 되어 상방에 배치한 검출 광학부(260)로 들어간다. 산란광(660)은 검출 광학부(260)에서 렌즈나 미러 등에 의해 집광되어, 산란광 검출기(200)에 도입된다.
- [0070] 도 2b는, 테라헤르츠파의 산란광의 분포를 도시하는 그래프이다. 횡축에 화소 번호를 취하고, 종축에 산란광 강도를 취하고 있다.
- [0071] 본 도면에 있어서, 산란광 검출기(200)의 출력은, 공간적으로 강도 분포를 갖는 것이며, 횡축의 중앙부에 피크를 갖는다. 즉, 산란광 강도의 피크는, 금속 이물(720)을 검출한 것을 명시하는 것이기 때문에, 신호 S라고 정의한다. 피크 이외의 산란광 강도가 낮은 영역에 있어서의 산란광은, 신호 S의 검출을 저해하는 요인이 되는 것이기 때문에, 노이즈라고 칭한다. 본 도면에 있어서, 노이즈의 최대값을 노이즈 N으로서 나타내고 있다.

- [0072] 신호 S와 노이즈 N의 비로서 표현하면, S/N비가 높은 쪽이, 입경이 작은 금속 이물(720)을 용이하게, 또한, 확실하게 검출할 수 있다. 즉, 금속 이물(720)의 입경이 작고, 신호 S가 낮은 경우에도, 노이즈 N이 낮으면 금속 이물(720)을 판별할 수 있다.
- [0073] 금속 이물(720)에서 반사되지 않은 테라헤르츠 조명광(100)은 집전체(710)에서 반사되어 정반사광(670)이 되고, 검출 광학부(260) 이외의 영역을 향한다. 정반사광(670)이 강한 경우에는, 바람직하게는, 장치 내부의 프레임 등의 부재에 맞닿아서 미광이 되지 않도록, 별도로 반사를 방지하는 반사 방지부를 설치하도록 해도 좋다.
- [0074] 활물질(701)의 입경의 10배 정도의 파장을 갖는 테라헤르츠파를 활물질(701)에 조사하는 투과 실험을 행하고, 투과율을 실측하였다.
- [0075] 도 3a는, 투과율을 측정하는 시료(샘플)를 도시하는 개략적인 단면도이다.
- [0076] 테라헤르츠 조명광(100)(테라헤르츠파)을 투과하는 기재(730)인 Si 웨이퍼(실리콘 웨이퍼)의 표면의 일부에 활물질(701)을 포함하는 전극 합체를 도포하여 두께 50 μ m의 전극 합체층(700)을 형성하였다. 따라서, 기재(730)는 전극 합체층(700)을 형성한 영역과 형성하지 않은 영역을 갖는다. 각각의 영역에 대하여 테라헤르츠 조명광(100)을 조사하고, 그 투과광의 강도를 측정함으로써 전극 합체층(700)에 있어서의 테라헤르츠 조명광(100)의 투과율을 산출하였다.
- [0077] 즉, 기재(730)에 전극 합체층(700)을 형성하지 않은 영역에 있어서의 투과광 강도 R과, 전극 합체층(700)을 형성한 영역에 있어서의 투과광 강도 M으로부터, 이들의 비인 M/R을 계산하여, 투과율로 하였다.
- [0078] 도 3b는, 투과율의 측정 결과를 도시한 그래프이다. 횡축에 테라헤르츠 조명광(100)(테라헤르츠파)의 파장을 취하여 대수축으로 하고, 종축에 투과율 M/R을 취하고 있다. 여기서, 투과율은 백분율로 나타내고 있다. 또한, 횡축에 나타내는 파장은, 우측 방향으로 진행할수록 값이 작게 되어 있다.
- [0079] 본 도면으로부터, 테라헤르츠파의 파장이 짧아짐에 따라, 투과율이 저하하는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 파장이 3mm(0.1THz)인 경우, 투과율은 60%였지만, 파장이 100 μ m(3THz)인 경우, 투과율은 수%로 저하한다. 이와 같이, 파장을 적당히 선택함으로써, 활물질(701)을 포함하는 전극 합체층(700)에 있어서의 테라헤르츠 조명광(100)의 투과율을 높게 할 수 있는 것을 알 수 있다.
- [0080] 이어서, 산란광의 강도에 영향을 미치는 인자에 대하여 설명한다.
- [0081] 도 4a는, 조사된 광이 계면에서 반사 또는 투과될 때의 상태를 도시한 것이다.
- [0082] 본 도면에 있어서, 입사하는 측의 매질의 굴절률을 n_i 로 하고, 투과하는 측의 매질의 굴절률을 n_t 로 한 경우의 입사각을 ϕ_i 로 하고, 굴절각을 ϕ_t 로 하고, 반사각을 ϕ_r 로 하고 있다.
- [0083] 레일리 산란 현상에 의한 산란광의 강도를 나타내는 산란 계수는, 하기 수학식 1로 산출할 수 있다.

수학식 1

$$K_s = \frac{2\pi^5}{3} n \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2 \frac{d^6}{\lambda^4}$$

- [0084]
- [0085] 여기서, m은 반사 계수이고, n은 입자수이며, d는 입자 직경이고, λ 는 파장이다.
- [0086] 반사 계수 m은, 하기 수학식 2 내지 4를 사용하여 산출할 수 있다.

수학식 2

$$m = \sqrt{m_s^2 + m_p^2}$$

- [0087]

수학식 3

$$m_s = \left[E_r^0 / E_i^0 \right]_s = \frac{n_i \cos \phi_i - n_t \cos \phi_t}{n_i \cos \phi_i + n_t \cos \phi_t}$$

[0088]

수학식 4

$$m_p = \left[E_r^0 / E_i^0 \right]_p = \frac{n_i \cos \phi_i - n_t \cos \phi_t}{n_i \cos \phi_i + n_t \cos \phi_t}$$

[0089]

[0090]

여기서, 상기 수학식 3은 S 편광의 반사 계수 m_s 를 산출하는 것이며, 상기 수학식 4는 P 편광의 반사 계수 m_p 를 산출하는 것이다.

[0091]

예를 들어, 비특허문헌 1에 의하면, 조사하는 광의 파장이 150 μ m인 경우, 알루미늄의 굴절률은 358이며, 그 흡수 계수는 425이다. 그 밖의 검출이 필요한 금속 이물인 구리, 철, SUS강 등의 다른 금속의 굴절률 및 흡수 계수에 대해서는, 비특허문헌 1에도 테라헤르츠 영역에 있어서의 충분한 데이터가 기재되어 있지 않지만, 비특허문헌 1의 데이터를 외부 삽입함으로써 유추한 결과, 알루미늄과 동일 정도(3자리 정도)인 것을 알았다.

[0092]

한편, 전극 합제에는, LiCoO₂ 등의 화합물인 활물질, 탄소질 재료의 미립자인 도전 보조제, 폴리불화비닐리덴(PVDF), 스티렌-부타디엔 고무(SBR) 등의 수지인 바인더 등이 포함된다. 이들에 대해서도, 테라헤르츠 영역에 있어서의 충분한 데이터는 얻어지지 않았지만, 비특허문헌 1에 기재된 측정 결과로부터 유추하면, 굴절률은, 금속의 값에 비하여 3자리수 정도의 차가 있는 것을 알 수 있다.

[0093]

도 4b는, 산란광의 강도를 시뮬레이션하기 위한 설정 조건을 도시한 것이다.

[0094]

본 도면에 있어서, 테라헤르츠 조명광(100)은 기관(310)에 대하여 소정의 조명광 양각 ϕ 로 조사되고, 산란된다. 산란광은, 개구각 2 θ 를 갖는 검출 광학부(260)에 의해 집광되고, 산란광 검출기(200)에 의해 전기 신호로 변환된다. 산란광 검출기(200)는 기관(310)에 대하여 수직 방향으로 배치되어, 소정의 개구각 2 θ 안에 들어오는 광량 합을 계산하여 산란광 강도를 구하고 있다. 기관(310)은 알루미늄제인 것으로 하고, 기관(310)에는, 1개의 이물 입자(300)(알루미늄 입자)를 놓아두고 있는 것으로 한다. 또한, 개구각 2 θ 와 개구수 NA(Numerical Aperture)의 관계는, 광학계의 매질인 공기의 굴절률을 1로 간주한 경우, NA=sin θ 이다.

[0095]

도 4c는, 도 4b의 설정 조건에 기초하는 시뮬레이션 결과의 예를 도시한 것이다. 횡축에 이물 입자(300)의 입경을 취하고, 종축에 산란광 강도를 취하여 대수축으로 하고 있다.

[0096]

본 도면은, 테라헤르츠 조명광(100)(테라헤르츠파)을 사방($\phi=13^\circ$)에서 조사하고, 기관(310)에 대하여 수직 방향으로 배치한 개구각 2 $\theta=40^\circ$ (NA=0.342)의 검출 광학부(260)에서 검출한 경우를 나타낸 것이다. 테라헤르츠 조명광(100)의 파장 λ 는, 150 μ m 및 500 μ m의 경우를 예로서 나타내고 있다.

[0097]

$\lambda=150\mu$ m의 경우에는, 비특허문헌 1에 기초하여, 굴절률을 358로 하고, 흡수 계수를 425로 하였다. 한편, $\lambda=500\mu$ m의 경우에는, 비특허문헌 1의 데이터로부터 유추하여, 굴절률을 822로 하고, 흡수 계수를 869로 하였다.

[0098]

본 도면에 있어서, 기관(310)에 놓인 이물 입자(300)(알루미늄 입자)의 입경이 30 μ m인 경우, 파장 λ 를 150 μ m로 하면, 산란광 강도(도면 중, A로 나타냄)는, 입사광량의 10⁻⁴배 정도가 된다. 이에 비해, 이물 입자(300)의 입경이 30 μ m인 경우에 있어서 파장 λ 를 500 μ m로 하면, 산란광 강도(도면 중, B로 나타냄)는, 입사광량의 10⁻⁷배 정도가 된다. 즉, 산란광 검출기(200)에서 얻어지는 신호 강도(산란광 강도)의 차는, 1000배 정도 상이하게 된다. 따라서, 파장 λ 가 500 μ m인 경우, 미약한 신호에서는 이물 입자(300)의 검출이 곤란하고, 파장 λ 가 150 μ m인 경우, 이물 입자(300)의 검출이 용이한 것을 알 수 있다.

[0099]

이어서, 물질의 반사율에 의한 산란광 강도의 상이에 대해서 검토한다.

[0100]

도 5는, 재질 및 입경의 상이에 의한 산란광 강도의 변화에 대하여 시뮬레이션을 행한 결과를 도시한 것이다.

횡축에 입경을 취하고, 종축에 산란광 강도를 취하여 대수축으로 하고 있다.

- [0101] 대상으로 한 재료는, 알루미늄 및 활물질이다. $\lambda=150\mu\text{m}$ 의 경우를 예로서 나타내고 있다.
- [0102] 본 도면에 있어서도, 도 4c와 마찬가지로, 테라헤르츠 조명광(100)(테라헤르츠파)을 사방($\phi=13^\circ$)에서 조사하고, 기관(310)에 대하여 수직 방향으로 배치한 개구각 $2\theta=40^\circ$ ($\text{NA}=0.342$)의 검출 광학부(260)에서 검출한 경우를 나타내고 있다.
- [0103] 알루미늄에 대해서는, 도 4c와 마찬가지로, 비특허문헌 1에 기초하여, 굴절률을 358로 하고, 흡수 계수를 425로 하였다. 한편, 활물질에 대해서는, LiCoO_2 등을 상정하여 물성값을 가정하였다. 즉, 비특허문헌 1에 기재된 LiNbO_3 등의 데이터를 참조하여, 굴절률을 1.6으로 하고, 흡수 계수를 0이라고 가정하였다.
- [0104] 본 도면에 있어서, 입경 $30\mu\text{m}$ 의 알루미늄의 입자의 경우, 산란광 강도(도면 중, A로 나타냄)는 입사광량의 10^{-4} 배 정도이다. 이에 비해, 입경 $10\mu\text{m}$ 의 활물질의 입자의 경우, 산란광 강도(도면 중, C로 나타냄)는 입사광량의 10^{-7} 배 정도이다. 즉, S/N비=1000으로 검출할 수 있는 것을 알 수 있다.
- [0105] 이상으로부터, LIB의 활물질 중 금속 이물의 검출에 있어서는, 활물질을 투과하는 적절한 파장을 갖는 전자파(테라헤르츠파) 및 그 산란광 강도의 차이를 이용하는 것이 가능하고, 고감도로 이물의 검출이 가능한 것을 알 수 있다.
- [0106] 이상의 재료의 투과율 특성이나 시뮬레이션의 결과 등을 검토하고, 또한 파라미터 서베이를 행한 결과, 예를 들어 활물질의 투과율이 높은(약 60%) 파장 3mm (0.1THz)의 경우, 금속 이물에 조사하는 광은 많게 할 수 있지만, 산란광 강도는 10^{-7} 로 감소해 버리는 것을 알았다. 한편, 활물질의 투과율이 낮은 파장 $150\mu\text{m}$ (2THz)의 경우, 투과율은 수%로 적지만, 산란광 강도는 10^{-4} 를 얻을 수 있는 것을 알았다.
- [0107] 즉, 산란광량의 변동이 크기 때문에, 산란광의 검출에 사용하는 조명광으로서, 파장 $100\mu\text{m}$ (3THz)에 가까운 테라헤르츠파가 유리하며, 30 내지 $200\mu\text{m}$ 의 범위의 파장이 적합하다. 한편, 파장 $500\mu\text{m}$ 의 경우에는, 산란광의 검출이 곤란해질 가능성이 높다. 이로 인해, $30\mu\text{m}$ 이상 또한 $500\mu\text{m}$ 미만의 범위의 파장이 적합하다.
- [0108] 테라헤르츠파의 파장의 적절한 범위에 대하여 정리하면 다음과 같이 된다.
- [0109] 테라헤르츠파의 파장은, 상기한 입경 등의 조건에 해당하는 활물질 및 금속 이물의 경우, $30\mu\text{m}$ 이상 또한 $500\mu\text{m}$ 미만의 범위가 바람직하고, 30 내지 $200\mu\text{m}$ 의 범위가 더욱 바람직하다. 단, 파장이 바람직한 범위는, 대상으로 하는 활물질의 종류, 입경 등, 전극 합제층의 두께에 따라서도 상이하다.
- [0110] 이어서, 산란광 검출을 행하기 위하여 효율적인 조건에 대하여 검토한다.
- [0111] 도 6a는, 이물 검출 장치의 광학계의 개략 구성을 도시한 것이다.
- [0112] 본 도면에 나타내는 이물 검출 장치는, 산란광(660)의 검출을 효율적으로 행한다는 요구로부터, 원적외선(테라헤르츠 조명광(100))을 사용하고 있다.
- [0113] 본 도면에 있어서, 이물 검출 장치는, 조명광 개구부(130), 산란광 검출기(200) 및 정반사광 검출기(210)를 주요한 구성 요소로 하고 있다. 테라헤르츠 조명광(100)은 위크 이동 방향(520)으로 흐르는 전극 시트 등의 대상물(위크)에 조사되어, 라인 형상 명부(140)를 형성한다. 여기서, 테라헤르츠 조명광(100)은 대상물에 대하여 조명광 방위각 α , 조명광 양각 ϕ 의 방향으로부터 조사된다. 또한, 테라헤르츠 조명광(100)은 조명광 개구각 β 로 조사된다.
- [0114] 대상물에는, 금속 이물(720)이 포함되는 경우가 있다. 대상물에 조사된 테라헤르츠 조명광(100)의 대부분은, 정반사광(670)이 되어 정반사광 검출기(210)를 향한다. 또한, 대상물로부터의 산란광(660)(도 2a에 도시하는 반사광(654)을 포함함)의 일부는, 산란광 검출 개구부(220)를 통과하여 산란광 검출기(200)를 향한다. 금속 이물(720)로부터의 반사광의 일부도 산란광 검출기(200)에 들어가게 되어 있다.
- [0115] 대상물인 LIB용 전극 재료에 포함되는 금속 이물(720)을 검출하는 경우에는, 테라헤르츠 조명광(100)의 파장을 적절하게 선택함으로써, 테라헤르츠 조명광(100)이 활물질을 투과하여 금속 이물(720)에 도달하고, 또한, 금속 이물(720)로부터 반사되는 산란광(660)도 활물질을 투과하여 산란광 검출기(200)에 의해 검출할 수 있다. 이 경우에는, 가장 양호한 감도로 금속 이물(720)로부터의 산란광(660)을 포착할 수 있는 위치에 산란광 검출기

(200)를 설치하는 것이 바람직하다.

- [0116] 또한, LIB용 전극 재료에 포함되는 활물질의 투과율이 100%가 아닌 한, 금속 이물(720)로부터의 산란광(660)의 발생과 동시에, 다입자 구조체인 LIB용 전극 재료로부터도 반사광(654)(도 2a에 도시함. 이하 동일함)이 발생한다. 활물질로부터의 반사광(654)은 금속 이물(720)로부터의 산란광(660)을 양호한 감도로 검출할 목적에서는, 저감하는 것이 바람직하다.
- [0117] 그래서, 산란광(660)의 검출 광학계의 배치에 있어서는, 금속 이물(720)의 신호가 가장 높고, 또한, 활물질로부터의 산란광(660)에 의한 노이즈가 가장 낮은 배치로 하고, 테라헤르츠 조명광(100)의 양각 ϕ , 방위각 α 및 조명광 개구부(130)의 개구각 β , 및 산란광 검출 개구부(220) 및 산란광 검출기(200)의 배치를 정하고 있다. 이들 배치는, 실험적으로 최적값을 구해도 되고, 산란광(660)을 발생하는 대상물이나 금속 이물(720)의 형상이나 물성값(예를 들어, 굴절률이나 흡수 계수)을 알고 있는 경우에는, 산란 현상의 시뮬레이션을 사용하여 산란광(660)이 강해지는 테라헤르츠 조명광(100)의 양각 ϕ , 방위각 α 등의 최적값을 파악해도 된다.
- [0118] 또한, 도시하고 있지 않지만, P 편광 또는 S 편광으로 산란광(660)과 금속 이물(720)의 신호 강도비가 변경되는 경우에는, 편광판을 사용해서 테라헤르츠 조명광(100)의 편광 방향을 변경하는 것도 유효하다.
- [0119] 또한, 산란광(660) 및 금속 이물(720)의 산란광의 각도가 상이한 경우에는, 검출 광학부의 개구부에서 산란광(660)을 차광하여, 금속 이물(720)로부터의 산란광을 통과시키는 위치에 조리개를 설치하는 것도 가능하다. 또한, 검출 광학부가 푸리에 변환 렌즈인 경우에는, 푸리에 변환면에 산란광(660)을 선택적으로 차광하는 조리개를 설치하여 금속 이물(720)로부터의 산란광을 통과시키는 검출 광학부를 제작하는 것도 가능하다.
- [0120] 이와 같이 하여, 효율이 좋고, 고감도인 산란광 검출이 가능한 이물 검출 장치를 실현할 수 있다.
- [0121] 이어서, 금속 이물(720)의 검사를 행하는 경우의 산란광 검출기(200)의 조작에 대하여 설명한다.
- [0122] 도 6b는, 산란광 검출기(200)로 검출한 산란광(660)의 분포를 도시하는 그래프이다.
- [0123] 본 도면은, 산란광 검출기(200)의 센서에 이차원적으로 입사한 산란광(660)의 밝기(입사광 강도)의 분포를 3차원 좌표로 나타낸 것이다.
- [0124] 단시간에 넓은 면적을 효율적으로 검사하기 위해서는, 이하에 나타내는 조건이 필요하다.
- [0125] 우선, 산란광 검출기(200)는 단일의 센서가 아니고, 2차원적으로 배열되어 있는 센서(2차원 센서라고 칭함) 또는 1차원적으로 배열되어 있는 센서(1차원 센서라고 칭함)를 갖는 것이 바람직하다.
- [0126] 또한, 테라헤르츠 조명광(100)은 대상물의 표면에 넓은 면적으로 조사되고, 또한, 2차원 센서 또는 1차원 센서와 공액이 되도록, 대상물의 표면에 라인 형상 명부(140)로서 조사된다. 조명광 개구부(130)를 포함하는 조명 광학계는, 1차원 센서의 경우, 이 1차원 센서가 배열되는 방향과 평행하게 라인 형상 명부(140)를 형성하도록 배치한다. 또한, 2차원 센서의 경우, 평면 형상에 넓은 명부를 형성하는 조명 광학계가 바람직하다.
- [0127] 조명 광학계는, 집광 렌즈, 반사 미러 등을 포함하는 부재를 사용하여 원하는 형상을 만들고 함께, 중심부와 주변부의 광량차를 저감하도록 조명 강도가 균일한 명부를 형성한다. 검사 대상물(워크)을 라인 형상 명부(140)의 길이 방향과 직교하는 방향(워크 이동 방향(520))으로 이동시키면서 측정을 반복함으로써, 넓은 면적을 동일한 조건으로 검사할 수 있다.
- [0128] 검사 면적의 크기나, 테라헤르츠 조명광(100)의 크기는, 요구되는 검출 화소의 크기, 산란광 검출기(200)의 화소수, 분해능, 비용대 효과 등을 감안하여 결정하고 있다. 그리고, 또한 광범위한 검사를 동시에 행할 필요가 있는 경우에는, 바람직하게는, 조명광 개구부(130), 산란광 검출기(200), 정반사광 검출기(210) 등으로 구성된 검사광학계를 복수 병렬로 설치하도록 하면 된다.
- [0129] 산란광(660)에 의한 이물 검출을 고감도로 행하기 위해서는, 대상물에 포함되는 금속 이물(720)(금속 입자)의 산란광(660)을 산란광 검출기(200)로 효율적으로 검출하는 것이 요구된다.
- [0130] 이 경우의 조건으로서, 산란광 검출기(200)의 센서측과 대상물측이 소위 포커스가 맞아 있는 관계인 것이 필요해진다. 이 상태를 만들어내기 위해서는, 대상물측을 항상 포커스가 맞아 있는 일정한 상태로 검사를 할 필요가 있다. 그를 위해서는, 오토 포커스의 기능을 실현하는 것이 바람직하다. 오토 포커스는, 초점 거리를 자동으로 조절하는 기능이며, 초점 거리 조절부에 의해 이루어진다.
- [0131] 다음으로, 이 오토 포커스를 정반사광(670)을 사용하여 실현하는 예에 대하여 도 6a 및 도 6c를 사용하여 설명

한다.

- [0132] 도 6c는, 정반사광 검출기(210)로 검출한 정반사광(670)의 분포를 도시하는 그래프이다.
- [0133] 본 도면은, 정반사광 검출기(210)의 센서에 이차원적으로 입사한 정반사광(670)의 밝기(입사광 강도)의 분포를 3차원 좌표로 나타낸 것이다.
- [0134] 정반사광(670)을 검출하기 위해서는, 정반사광(670)의 광로 중에 대상물점과 공액의 위치에 2차원 센서 또는 1차원 센서(간단히 센서라고도 칭함)를 갖는 정반사광 검출기(210)를 배치한다. 테라헤르츠 조명광(100)이 반사되는 위치, 즉 정반사광(670)이 발생하는 위치(산란광(660)의 검출에 있어서는, 대상물점의 위치에 상당함)가 상하로 이동하는 경우에는, 그 이동 거리에 따라, 센서에 있어서의 정반사광(670)의 분포가 변동된다. 이것은, 센서에 있어서의 정반사광(670)의 분포가 테라헤르츠 조명광(100)의 위치에 대응하는 것을 의미한다. 이 센서에 있어서 검출하는 정반사광(670)의 분포를 피드백시켜서, 대상물점의 위치의 위치를 제어한다. 이에 의해, 오토 포커스의 기능을 실현할 수 있다.
- [0135] 산란광 검출을 더욱 고감도로 실현하기 위한 현재화의 방법에 헤테로다인 방식 및 록 인 검출 방식이 있다. 그 방식에 대하여 도 7을 사용하여 설명을 한다.
- [0136] 도 7은, 이물 검사 장치의 감도를 향상하기 위한 회로 구성을 도시한 것이다.
- [0137] 본 도면에 있어서는, 산란광 검출기(200) 및 정반사광 검출기(210)에 의해 검출된 신호를 헤테로다인(400) 및 록 인 앰프(410)에 의해 처리하는 회로 구성이 도시되어 있다. 헤테로다인(400) 및 록 인 앰프(410)는 각각, 로컬 오실레이터(420)(Local Oscillator), 어테뉴에이터(430)(ATT) 및 적산 회로(435)를 포함한다.
- [0138] 테라헤르츠 조명광(100)은 광원(80)으로부터 조사하고, 조명 광학계(90)를 거쳐서 조사되어, 라인 형상 명부(140)를 형성한다.
- [0139] 금속 이물(720)로부터의 산란광(660)의 양이 감소하여 신호 전압값이 작아지고, 활물질로부터의 산란광(660)에 기인하는 노이즈나 검출 회로로부터 발생하는 노이즈의 전압값에 가까워지면 안정되게 금속 이물의 검출을 할 수 없게 된다. 그래서, 별도로 노이즈 저감의 대책이 필요해지게 된다. 노이즈를 저감하는 수단으로서, 헤테로다인 검출 방식 및 록 인 검출 방식이 바람직하다.
- [0140] 우선, 현재화 처리부로서의 헤테로다인 검출 방식에 대하여 설명한다.
- [0141] 금속 이물(720)을 검출하는 경우에는, 금속 이물(720)의 크기가 작아지면 산란광(660)의 양도 저감된다. 안정되게 검출하기 위하여 신호를 앰프로 증폭하면 노이즈도 증폭되어 버리기 때문에, 오검출의 원인이 된다. 그래서, 증폭시의 앰프 노이즈를 저감하기 위해서, 산란광 검출기(200)로 검출한 산란광의 신호와 동일 정도의 주파수의 신호를 로컬 오실레이터(420) 및 어테뉴에이터(430)에 의해 적산 회로(435)에 공급한다. 이에 의해, 검출 신호의 주파수를 M배로 변환(저감)하고, 앰프 저감 노이즈의 영역에 있어서의 신호 증폭을 행한다. 이 경우에, 검출 신호의 주파수를 변환하는 수단으로서 헤테로다인(400)을 사용한다.
- [0142] 예를 들어, 테라헤르츠 영역의 검출 신호에 대하여, 검출기에 있어서의 참조 신호로서 M배+M배의 주파수의 신호를 넣으면, 검출 신호의 차 주파수의 M배로 변환할 수 있다.
- [0143] M배의 밴드 패스 필터(440)(BPF)로 노이즈를 제거하고, 그 후단에 로우 노이즈 앰프(450)를 넣어서 노이즈를 저감한 M배의 출력을 얻을 수 있다.
- [0144] 이 관계를 수식으로 나타내면, 측정광, 참조광 및 간섭광은 각각, 하기 수학식 5, 6 및 7로 표현된다.

수학식 5

$$I_1 = A_1 \exp(\omega_1 t + \phi_1)$$

[0145]

수학식 6

$$I_2 = A_2 \exp(\omega_2 t + \phi_2)$$

[0146]

수학식 7

$$I = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\phi_1 - \phi_2)]$$

[0147]

[0148] 여기서, ω_1 은, 테라헤르츠 조명광(100)(측정용 조명광)의 주파수이고, ω_2 는, 헤테로다인(400)에 있어서 적산하는 주파수이며, $\omega_1 - \omega_2$ 는, 헤테로다인으로부터 출력하는 $M\omega$ 의 주파수의 목표값이다. ω_2 의 주파수는, $\omega_1 - \omega_2$ 가 수 $M\omega$ 가 되도록 선정한다.

[0149] 이어서, 마찬가지로 검출 신호로부터 노이즈를 저감하는 수단으로서 록 인 앰프(410)를 사용하는 방식을 설명한다.

[0150] 도 7에 도시하는 바와 같이, 헤테로다인(400)에서 노이즈를 저감한 이물 검출 신호를 현재화하여 취출하는 수단으로서 록 인 검출 방식이 있다. 이 록 인 검출 방식에 있어서는, 헤테로다인(400)에서 검출한 신호와 동일 정도의 $M\omega$ 대의 주파수의 신호를 로컬 오실레이터(420)로부터 어테뉴에이터(430)를 거쳐서 적산 회로(435)에 공급한다.

[0151] 이 경우의 신호의 변화는, 합성파의 강도의 식으로서 하기 수학식 8로 표시된다.

수학식 8

$$I(\omega) = A \sin \omega t \cdot \sin \omega = \frac{A}{2} [\cos(0) + \cos 2\omega t] = \frac{A}{2} \cos(0) = \frac{A}{2}$$

[0152]

[0153] 이 후단에 배치된 로우 패스 필터(460)(LPF)를 거침으로써 2ω 성분은 차단된다. 이 신호 처리에 의해 출력으로서 얻어지는 신호는, 금속 이물(720)의 산란광 신호(500)이며, 상기 수학식 8에 나타내는 바와 같이 $A/2$ 로 된다.

[0154] 이상의 검출 신호 처리를 행함으로써, 노이즈를 저감하여 미소 크기의 금속 이물(720)로부터의 산란광 신호(500)를 고감도로 검출하는 것이 가능해져, 검출 능력의 고감도화를 달성할 수 있다.

[0155] 또한, 상기한 헤테로다인 검출 방식 등의 미소 신호의 검출 수단 외에, 동기 검파부와 록 인 앰프를 구비하고, 이들을 사용하여, 동기 검파와 록 인 앰프를 사용하는 방법에서도 마찬가지로의 노이즈 저감 효과를 낼 수 있다. 이 방법은, 일반적인 AM 라디오의 송신, 수신용으로서 실적이 있는 방법이다. 구체적으로는, 송신측에 변조 주파수를 가하여, 변조를 걸어서 공간을 향하여 송신하고, 수신측에서, 송신측과 동일한 주파수만을 선택함으로써 수신이 가능하게 되도록 한 것이다. 이 수신측의 주파수의 선택에 의해, 노이즈를 제거할 수 있고, 그 후에 록 인 앰프로부터 이물 신호만을 고감도로 검출할 수 있다.

[0156] 이상의 이물 검사의 설명은, LIB의 전극막을 테라헤르츠파가 투과하여, 그 중의 금속 이물을 검출 가능한 것에 대해서이지만, 마찬가지로 현상 및 효과는 다른 물질에서도 성립한다. 예를 들어, 입자를 굳혀서 형성한 다입자 구조체인 세라믹스, 수지 부재 등의 유전체 재료 중 이물 검출에도 적용할 수 있다.

[0157] 또한, LIB의 전극막 중 이물 검출에 있어서는, 금속 이물을 대상으로 하여 그 효과를 설명하고 있지만, 이물의 입자는, 금속이 아니어도 막을 구성하는 유전체와의 굴절률차(유전율차)가 있는 경우에는, 산란광량의 차이가 발생하기 때문에, 검출이 가능하다.

- [0158] 이어서, 활물질을 포함하는 전극 합제층의 막 두께 및 금속 이물의 깊이를 검출하는 방식에 대하여 설명한다.
- [0159] 도 8a는, 광학계를 연구하여, 근적외선 또는 가시광의 영역에서 검출을 행하는 구성을 도시하는 것이며, 검출을 고속화하여 전극 시트 등의 대상물의 양산 라인에 적용 가능하게 한 것이다.
- [0160] 본 도면에 있어서는, 정반사광(670)을 2차원의 면 형상 광전 변환 소자(수광 센서) 또는 1차원 광전 변환 소자(라인 센서)에서 검출하는 예를 나타내고 있다. 면 형상 광전 변환 소자는 2차원 센서의 일종이며, 1차원 광전 변환 소자는 1차원 센서의 일종이다.
- [0161] 우선, 검출의 고속화의 예에 대하여 설명한다.
- [0162] 산란광(660)의 검출에 사용한 테라헤르츠파를 열 변환하여 검출하는 블로미터 방식의 검출 방식 이외에, 비선형 결정 소자(E0 결정 소자(600))를 사용하여 가시광으로 변환하여 광전 변환하는 검출 방식이 있다.
- [0163] 블로미터를 응용한 센서의 경우, 그 동작 속도는, 수msec(밀리초)의 응답 시간이 필요하여, 고속 관독의 한계로 되어 있다. 이에 비해, E0 결정 소자(600)(전기 광학 결정 소자)를 사용하여 검출하는 방식에 있어서는, 센싱의 파장 영역을 짧게 할 수 있다. 예를 들어, 가시광으로부터 적외광까지의 영역으로 할 수 있다. 이로 인해, 고속 응답이 가능한 양자형의 검출기를 이용하는 것이 가능하게 되고, 동작 속도를 빠르게 할 수 있다. 즉, μ sec(마이크로초)의 응답성을 얻을 수 있다.
- [0164] 이에 의해, 금속 이물(720)을 포함하는 전극 합제층(700)의 막 두께 변화나 오토 포커스의 위치 변화를 고정밀도로, 실시간으로 검출하는 것이 가능해진다.
- [0165] E0 결정 소자(600)는 포켈스(Pockels) 효과를 이용하는 것이다.
- [0166] 포켈스 효과는, 결정 소자에 전계 E를 걸면 그 전계 E에 의해, 어떤 결정 방향의 굴절률이 변동하는 현상이다.
- [0167] 본 도면에 있어서, 테라헤르츠 조명광(100)(테라헤르츠파)은 금속 이물(720)을 포함하는 전극 합제층(700)에 조사되어, 정반사광(670)을 발생한다. 또한, 테라헤르츠 조명광(100)(테라헤르츠파)을 비선형 결정으로 발생시키기 전의 나노초 펄스 레이저(파장은 적외광 또는 가시광의 영역임)의 일부를 분기하여 프로브광(620)으로 하고, 정반사광 검출 광학계에 배치된 E0 결정 소자(600)에 편광판(610)을 거쳐서 입사함으로써, 테라헤르츠 조명광(100)의 전계에너지를 이용하여 포켈스 효과를 발생시키고, E0 결정 소자(600)의 굴절률을 변동시킨다. 즉, 프로브광(620)으로서 레이저광을 조사하면, E0 결정 소자(600)를 통과할 때의 광로 길이가 변동된다. 이에 의해, 통과한 프로브광(620)의 위상이 변화된다. 이 위상의 변화에 의해, 입사된 프로브광(620)의 편광 방향이 변화된다. E0 결정 소자(600)의 입구측에 편광판(610)을, 출구측에 검광판(640)을 각각, 프로브광(620)의 편광 각도에 대하여 적절한 각도가 되도록 설치함으로써, 위상의 변화가 편광 각도의 변화로 되어, 수광 광량의 변동으로서 검출할 수 있다.
- [0168] 이 통과 광량의 변동을 양자형의 적외·가시광 검출기(650)로 검출함으로써, 테라헤르츠파의 광량의 변동을 검출하게 된다. 즉, 테라헤르츠 조명광(100)의 반사 위치의 변동이나 막 두께 등을 고속으로 검출할 수 있다.
- [0169] 또한, 산란광 검출 광학계에 E0 결정 소자(600)를 사용한 예를 설명한다.
- [0170] 포켈스 효과의 원리를 이용하는 점에 대해서는, 정반사광 검출 광학계에 E0 결정 소자(600)를 사용한 경우와 마찬가지로이지만, 산란광(660)이 발생하면 E0 결정 소자(600)에 펄프광이 입사된다. 이 산란광(660)에 의해, E0 결정 소자(600)의 굴절률이 변동된다.
- [0171] 이때, 프로브광(630)으로서 레이저광을 조사하면, E0 결정 소자(600)를 통과할 때의 광로 길이가 변동된다. 여기서, 산란광 검출 광학계에 사용하는 프로브광(630)은 테라헤르츠 조명광(100)을 비선형 결정으로 발생시키기 전의 나노초 펄스 레이저(파장은 적외광 또는 가시광의 영역임)를 분기하고, 편광판(610)을 통과시켜서 변환한 것이다.
- [0172] 이에 의해, 통과한 프로브광(630)의 위상이 변화된다. 이 위상이 변화됨으로써, 입사한 프로브광(630)의 편광 방향이 변화된다. E0 결정 소자의 입구측에 편광판(610)을, 출구측에 검광판(640)을 각각, 프로브광(630)의 편광 각도에 대하여 적절한 각도가 되도록 설치함으로써, 이 프로브광(630)의 편광 방향의 차이를 이용하여, 금속 이물(720)의 산란광(660)을 고속으로, 또한, 고감도로 검출하는 것이 가능해진다.
- [0173] 본 도면에 나타내는 방식은, 테라헤르츠파에 의한 E0 결정 소자(600)의 포켈스 효과를, 통과하는 레이저광의 위상 변화로 추출하는 방식이지만, 레이저광의 위상 변화는, E0 결정 소자(600)의 반사에 의해서도 발생한다. 도

시하지 않았지만, 센서측에서 레이저광을 조사하여, E0 결정 소자(600)로부터의 반사광을, 투과광과 마찬가지로 하여, 편광판(610)에서 위상의 변화를 광량의 변화로서 센서로 검출함으로써, 테라헤르츠파의 검출이 가능해진다. 이 반사형의 E0 결정 소자(600)를 병렬로 배열함으로써, 넓은 면적을 동시에 검사하는 것이 가능하다.

- [0174] 도 8b는, 정반사광 강도와 막 두께 및 이물의 깊이의 관계를 도시하는 설명도이다. 도 8c는, 정반사광 강도의 분포로부터 막 두께를 산출하는 방식을 도시하는 모식도이다.
- [0175] 도 8b에 도시하는 바와 같이, 전극 합제층(700)으로부터의 정반사광(670)은 전극 합제층(700)의 상면으로부터의 정반사광(도 8c의 상면 반사광(530)) 및 전극 합제층(700)의 하면으로부터의 정반사광(도 8c의 하면 반사광(540))을 포함하고 있다.
- [0176] 정반사광(670)의 검출 광학부의 확대 배율을 조절함으로써, 적외·가시광 검출기(650)에 있어서 전극 합제층(700)의 상면 및 하면을 각각 위치 정보로서 인식할 수 있다. 또한, 이 상면과 하면의 거리를 검출함으로써, 전극 합제층(700)의 막 두께(두께)를 검출할 수 있다.
- [0177] 리튬 이온 이차 전지에 있어서는, 전극 합제층(700)의 두께가 전지의 성능에 영향을 미친다. 종래, 전극 합제층(700)의 두께는, 다른 수단을 사용하여 측정하고, 생산 공정에 있어서의 관리 항목으로 하고 있다.
- [0178] 이러한 배경 하에서, 도 8a 내지 도 8c에 나타내는 방식을 사용하여 산란광(660)을 이용한 이물 검사를 하는 과정에 있어서 전극 합제층(700)의 두께를 동시에 검사할 수 있는 효과는 높다.
- [0179] 정반사광(670)에 의한 막 두께의 검사 시, 금속 이물(720)이 전극 합제층(700)에 포함되는 경우에는, 막 두께의 정보 중에 금속 이물(720)로부터의 반사 신호(도 8c의 이물 반사광(535))를 검출할 수 있다. 이 경우에는, 도 8b에 도시하는 바와 같이, 금속 이물(720)이 매립되어 있는 깊이의 정보를 동시에 검출할 수 있다.
- [0180] 이어서, 테라헤르츠파에 의한 성분 분석을 LIB의 검사에 응용하는 예에 대하여 설명한다.
- [0181] 도 9a는, 수분 분석 기능 및 이물 성분 분석 기능을 갖는 이물 검사 장치를 도시하는 개략적인 구성도이다. 도 9b는, 조명광의 주파수 분포를 도시하는 그래프이다. 도 9c는, 수분의 스펙트럼을 도시하는 그래프이다. 도 9d는, 이물의 스펙트럼을 도시하는 그래프이다.
- [0182] 테라헤르츠파는, 파장이 수십 μ m 내지 수백 μ m의 광(전자파)이기 때문에, 조사한 물질에 분자 레벨의 진동 현상 및 흡수 현상을 일으킨다. 펄스 형상의 테라헤르츠 조명광(100)(테라헤르츠파)을 분석 대상의 물질(대상물)에 조사하고, 그 반사파의 위상 및 파형을 펨토초 펄스 레이저(170)의 펄스로 동기하여 검출하는 방식으로, 테라헤르츠파의 스펙트럼별 광량의 강약을 측정할 수 있다.
- [0183] 이 데이터로부터, 스펙트럼의 변화를 횡축으로 하고, 광의 강약을 종축으로 하는 스펙트럼별 특성 그래프를 얻을 수 있다. 최근 들어, 테라헤르츠파의 이용에 관한 연구가 진행되어, 스펙트럼의 변동은, 분자의 성분에 의해 특징적인 분포를 나타내는 것을 알게 되었다. 분석의 분야에 있어서는, 이 스펙트럼별 분포 특성을 물질의 지문이라고 칭하고 있다.
- [0184] 도 9a에 있어서는, 펨토초 펄스 레이저(170)를 광전도 안테나 소자(180)(광전도 안테나 InGa 전왜 소자)에 의해 테라헤르츠 조명광(100)으로 변환하여, 대상물에 조사하고 있다. 펨토초 펄스 레이저(170)의 일부는, 분기하여 반사판(345) 등을 거쳐서 프로브광(630)으로서 사용한다. 반사판(345)은 반사판 이동 방향(350)으로 이동 가능하게 하고 있고, 이에 의해, 프로브광(630)의 행로 길이를 조절할 수 있게 되어 있다. 본 도면에 있어서는, 산란광(660) 및 정반사광(670)을 검출하는 광전도 안테나 소자(180)에 프로브광(630)을 조사한다. 또한, 프로브광(630)은 산란광(660) 및 정반사광(670)이 입사하는 광전도 안테나 소자(180) 면의 이면측으로부터 입사하게 되어 있다. 산란광(660) 및 정반사광(670)을 검출하는 광전도 안테나 소자(180)로부터 신호 출력(470)이 얻어진다.
- [0185] 도 9b에 도시하는 바와 같이, 펨토초 펄스 레이저(170)는 브로드한 주파수 분포를 갖는다.
- [0186] 다음으로, 수분 및 이물의 분석예(도 9c 및 도 9d)에 대하여 설명한다.
- [0187] 정반사광(670)을 검출 광학계로 분기함으로써, 오토 포커스 기능과 LIB에 포함되는 수분의 분석을 동시에 실현할 수 있다. 또한, 산란광으로부터 검출한 이물의 성분을 마찬가지로 분석할 수도 있다.
- [0188] 이하의 설명에 있어서는, 분석에 관한 사항만을 설명한다.
- [0189] 수분의 분석은, 정반사광 검출기인 광전도 안테나 소자(180)로부터 얻어진 신호 출력(470)을 사용하여 행한다.

- [0190] 펄토초 펄스 레이저(170)를 광원으로 사용하고, 광전도 안테나 소자(180)를 사용하여 광대역의 테라헤르츠파를 발생시킨다. 이 광대역의 테라헤르츠파를 LIB의 전극 시트에 조사하고, 그 정반사광을 광전도 안테나 소자(180)에 의해 전기 신호로 변환함으로써, 반사광의 위상 및 파장별 진폭의 정보를 얻을 수 있다. 이 반사광의 스펙트럼은, 서브 μm 내지 수 μm 의 영역으로 되어 있기 때문에, 정확히 수분의 분자의 스펙트럼을 검출할 수 있는 영역으로 되어 있다.
- [0191] 이것을 이용함으로써, 물 분자 특유의 스펙트럼 분포를 검출할 수 있어, 수분의 존재를 검증할 수 있다.
- [0192] 도 9c는, 테라헤르츠파로 측정된 수분의 지문 스펙트럼을 모식적으로 도시한 것이다.
- [0193] 수분의 지문 스펙트럼은, 정반사광의 밝기의 위상 및 진폭을 변환하여 얻어진다.
- [0194] LIB는, 전지로서 작동할 때에 그 내부의 활물질에 수분이 포함되어 있으면, Li 이온의 이동이 저해된다. 이 때문에, 통상의 생산 라인에 있어서는, 드라이 룸으로 해서 수분의 부착을 방지하여, 활물질의 건조에 주력하고 있다. 이물 검사 장치의 하나의 기능으로서, 이물 검사와 동시에 수분의 함유 검사를 행함으로써, 검사 장치로서의 큰 기능 업으로 연결된다.
- [0195] 이하, 산란광 검출 광학계에 분석 기능을 부가한 경우에 대하여 설명한다.
- [0196] 도 9d에 모식적으로 도시하는 바와 같이, 산란광 성분으로부터는, 전극 합제층 및 전극 합제층에 포함되는 이물 성분의 스펙트럼이 검출된다. 이로 인해, 이물이 금속이 아닌 경우에는, 산란광 파장의 분석에 의해 막 내의 이물의 스펙트럼 성분을 분석할 수 있다. 이것은, 분자 레벨의 진동으로부터 산란광의 반사 스펙트럼에 변화가 나타나는 현상을 이용하는 것이다.
- [0197] 이물의 스펙트럼은, 이물로부터의 산란광의 밝기의 위상 및 진폭을 변환하여 얻어진다. 공정의 관리를 하는 경우에는, 이물의 성분을 알면, 발생 요인을 파악할 수 있어, 이물의 저감을 신속히 행할 수 있기 때문에, 효과가 크다.
- [0198] 이상의 기능에 대해서는, 알기 쉽게 하기 위하여 따로따로 설명했지만, 이들의 검출 기능은 각각 독립되어 있기 때문에, 정반사 광학계나 산란 광학계 중에서 빔 스플리터나 프리즘 등의 광 분기 수단을 사용함으로써, 동시에 각 기능을 실현할 수도 있다.
- [0199] 도 9a에 나타내는 분석의 예에 있어서는, 펄토초 펄스 레이저(170)를 사용하고 있다. 산란광을 검출함으로써 행하는 이물 검사의 경우에는, 테라헤르츠파의 에너지가 바람직하다. 이로 인해, 도 9a에 도시하는 바와 같이, 광원으로 펄토초 펄스 레이저(170)를 사용하고, 펄토초 펄스 레이저(170)를 변환해서 테라헤르츠 조명광(100)을 얻는 것에 의해서도 산란광의 검출은 실현이 가능하여, 분석과 산란광 검출을 동시에 실현할 수 있다.
- [0200] 도 10a는, 산란광의 검출을 1차원 센서에 의해 행하는 경우의 구성을 도시한 모식도이다. 도 10b는, 산란광의 검출을 2차원 센서에 의해 행하는 경우의 구성을 도시한 모식도이다. 여기서, 1차원 센서는, 복수개의 센서를 1열로 배열한 것이며, 2차원 센서는, 복수개의 센서를 복수의 열로 배열한 것이다.
- [0201] 도 10a에 있어서는, 테라헤르츠 조명광(100)을 워크 이동 방향(520)으로 이동하는 워크에 조사하여 라인 형상 조명(140)으로 하고, 이곳으로부터의 산란광을 검출 광학부(260)를 거쳐서 1차원 센서(1010)로 검출한다. 1차원 센서(1010)는 워크 이동 방향(520)에 대하여 직교하는 방향에 배치하는 것이 바람직하다.
- [0202] 도 10b에 있어서는, 테라헤르츠 조명광(100)을 워크 이동 방향(520)으로 이동하는 워크에 조사하여 면 형상 조명(1030)으로 하고, 이곳으로부터의 산란광을 검출 광학부(260)를 거쳐서 2차원 센서(1020)로 검출한다.
- [0203] 이하, 1차원 센서 및 2차원 센서의 특징에 대하여 설명한다.
- [0204] 1차원 센서는, 일반적으로 저렴하다. 또한, 검출한 신호를 판독하기 위한 시간이 짧아도 되기 때문에, 화상 측정을 고속도로 행할 수 있다. 또한, 1열의 화소 수가 수천 화소인 것을 사용함으로써, 폭이 넓은 대상물을 고속도로 검사할 수 있다.
- [0205] 또한, 1차원 센서는, 면 형상의 부재를 검사할 때에는, 워크를 이동하는 것이 바람직하다.
- [0206] 2차원 센서는, 1회의 데이터 채취에 의해 넓은 면적의 정보를 얻을 수 있다. 또한, 넓은 면적 정보로부터 결함을 용이하게 현재화할 수 있다.
- [0207] 또한, 2차원 센서는, 그 데이터 채취 기능을 최대한으로 발휘하기 위해서는, 넓은 영역을 조사하는 조명광을 사

용하는 것이 바람직하다. 또한, 2차원 센서는, 1차원 센서에 비하여 화상 정보가 많기 때문에, 화상 측정을 고속도로 행하기 위해서는, 버퍼 메모리나 병렬 처리 기능을 갖는 계산부를 구비하는 것이 바람직하다. 상기한 계산부는, 워크의 이동을 원활하게 하기 위해서도 바람직하다.

- [0208] 도 11은, 이물 검사 장치의 회로 구성의 예를 통합하여 블록도로서 도시한 것이다.
- [0209] 본 도면에 있어서는, 조명광 발생부(1102) 및 조명 광학계(1103)를 포함하는 조명광 조사부(1101)로부터 대상물을 향하여 조명광이 조사된다. 대상물로부터의 산란광은, 산란광 검출 광학계(1104)를 거쳐서 산란광 검출부(1105)에서 수광된다. 또한, 대상물로부터의 정반사광은, 정반사광 검출 광학계(1106)를 거쳐서 정반사광 검출부(1107)에서 수광된다. 이들은, 제어부(1110)에 의해 그 동작을 제어된다.
- [0210] 산란광 검출부(1105) 및 정반사광 검출부(1107)에서 얻어진 신호는, 신호 변환부(507)의 평활화 처리부(502)로 보내지고, 필터 처리부(504) 및 현재화 처리부(506)를 거쳐서 제어부(1110)로 보내진다. 여기서, 평활화 처리부(502) 및 필터 처리부(504)는 노이즈 처리부(505)를 구성한다.
- [0211] 산란광 검출부(1105) 및 정반사광 검출부(1107)가 2차원 센서를 구비하고 있는 경우 등, 신호가 방대해져서 실시간으로 처리하는 것이 곤란해지는 경우, 산란광 검출부(1105) 및 정반사광 검출부(1107)에서 얻어진 신호는, 계산부(1120)로 보내지고, 버퍼 메모리(1121)나 병렬 처리부(1122)를 거쳐서 제어부(1110)로 보내진다. 이에 의해, 제어부(1110)에 있어서의 신호의 오버플로우를 방지할 수 있다.
- [0212] 또한, 산란광 검출부(1105) 및 정반사광 검출부(1107)에서 얻어진 신호는, 분석부(1130)로 보내져, 수분의 유무, 이물의 종류 등을 분석할 수 있다.
- [0213] 이하, 본 발명의 효과를 통합하여 설명한다.
- [0214] 유전체 특성의 다입자 구조체 중에 매립된 도전체 물질(예를 들어 금속 입자)을 검출하는 경우에는, 다입자의 입경 크기보다 10배 정도 긴 전자파가 다입자 구조체를 투과하는 특성을 이용하여, DF 구성으로 조사함으로써, 다른 검출 수단보다도 작은 크기의 도전성 물질을 고감도로 검출할 수 있다.
- [0215] DF 구성으로 테라헤르츠파 조명광을 센서의 크기에 대응하는 면적으로 확장하여 사방 조사하고, 전지 시트 등의 대상물의 연직 상방에 검출 광학계를 배치하는 구성으로 함으로써, 핀트를 유지하고, 또한, 동시에 넓은 면적의 이물 검사 및 분석을 할 수 있다.
- [0216] 복수개의 검출 광학부(센서)를 배열해서 1차원 센서 또는 2차원 센서로 함으로써, 동시에 검사 가능한 범위를 확대할 수 있다. 또한, 전극 시트의 폭의 치수에 대응하는 검출 광학부를 배열함으로써, 1패스로 전체면의 검사를 행하는 것이 가능해진다.
- [0217] 테라헤르츠파는, 다양한 물질 분자에 진동을 발생시키기 때문에, 물질로부터의 반사광 또는 산란광의 분광 분포를 측정함으로써, 물질의 재질을 분석할 수 있다. 특히, 대상물이 LIB의 전극 시트인 경우, 전극 재료에 수분이 포함되는 것은 바람직하지 않기 때문에, 수분량의 분석을 가능하게 하는 장점은 크다.
- [0218] 정반사광을 E0 소자에 의해 가시광으로 변환하여 가시광 센서에서 정반사광의 위치를 검출함으로써, 반사 위치의 검출을 할 수 있고, 이 데이터를 사용하여 오토 포커스 기능을 부여할 수 있다.

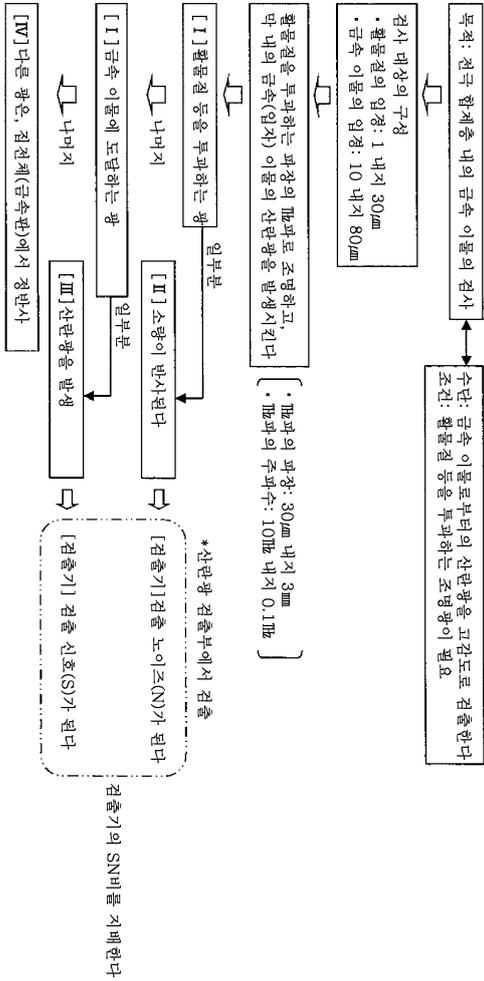
부호의 설명

- [0219] 100 : 테라헤르츠 조명광
- 130 : 조명광 개구부
- 140 : 라인 형상 명부
- 170 : 펄스 레이저
- 180 : 광전도 안테나 소자
- 200 : 산란광 검출기
- 210 : 정반사광 검출기
- 220 : 산란광 검출 개구부

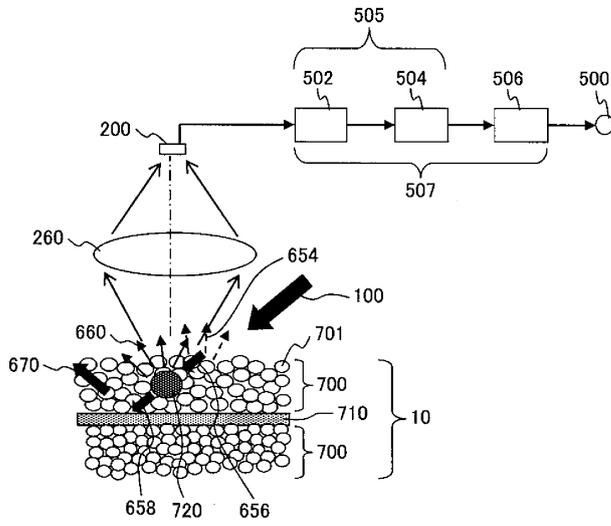
- 260 : 검출 광학부
- 300 : 이물 입자
- 310 : 기관
- 350 : 반사판 이동 방향
- 400 : 헤테로다인
- 410 : 록 인 앰프
- 420 : 로컬 오실레이터
- 430 : 어테뉴에이터
- 440 : 밴드 패스 필터
- 450 : 로우 노이즈 앰프
- 460 : 로우 패스 필터
- 470 : 신호 출력
- 500 : 출력
- 520 : 위크 이동 방향
- 530 : 상면 반사광
- 540 : 하면 반사광
- 600 : EO 결정 소자
- 610 : 편광판
- 620 630 : 프로브광
- 640 : 검광판
- 650 : 적외·가시광 검출기
- 660 : 산란광
- 670 : 정반사광
- 700 : 전극 합제층
- 701 : 활물질
- 710 : 집전체
- 720 : 금속 이물
- 730 : 기재
- 801 : 나노초 펄스 레이저
- 802 : 비선형 결정
- 1010 : 1차원 센서
- 1020 : 2차원 센서

도면

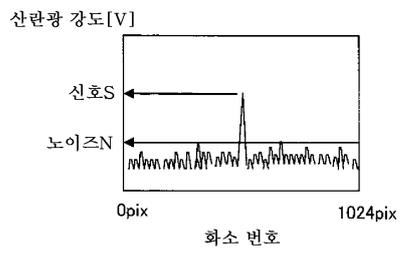
도면1



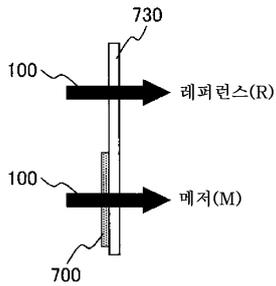
도면2a



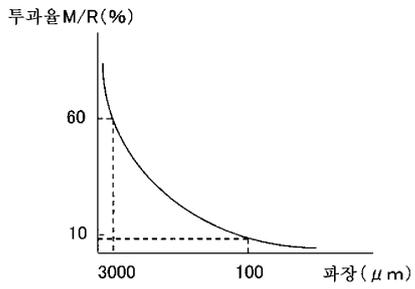
도면2b



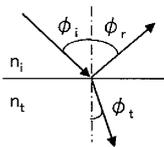
도면3a



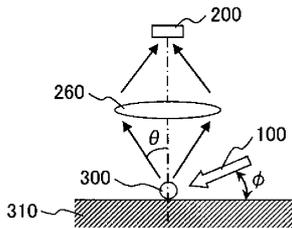
도면3b



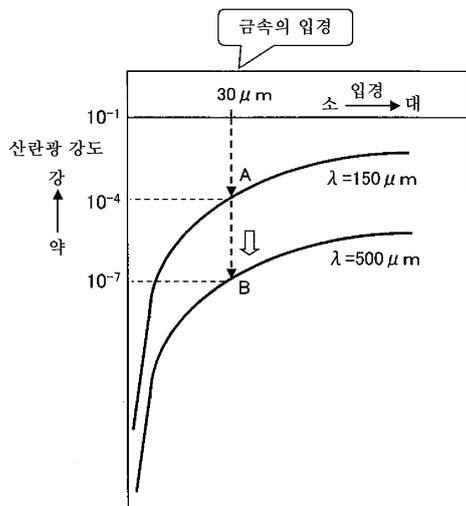
도면4a



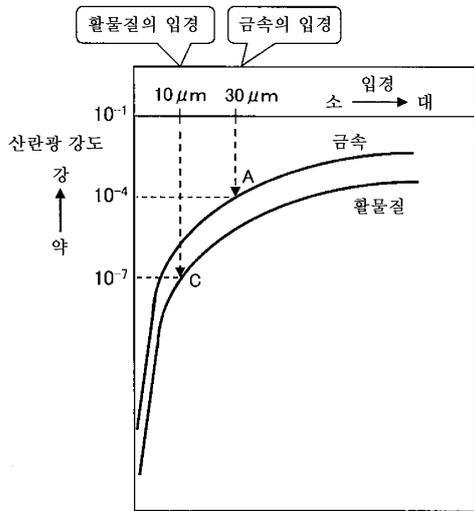
도면4b



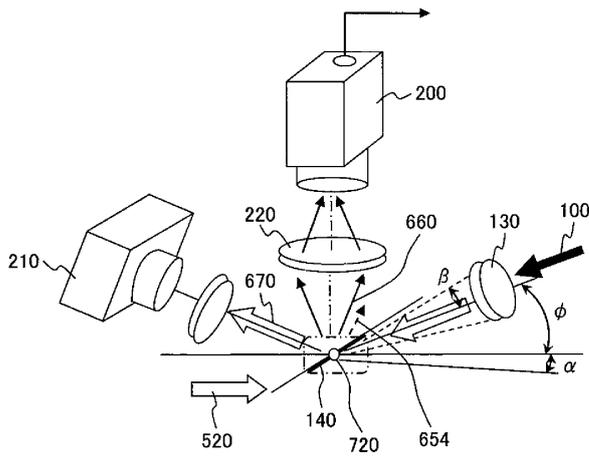
도면4c



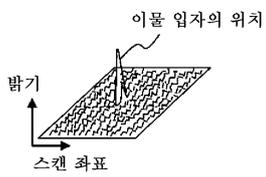
도면5



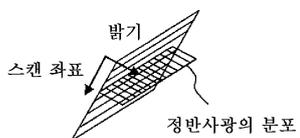
도면6a



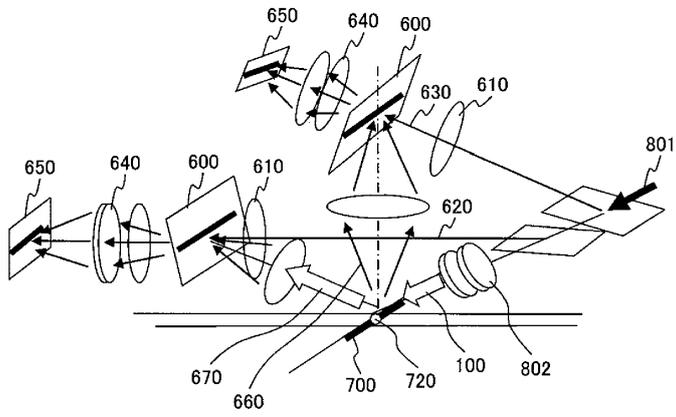
도면6b



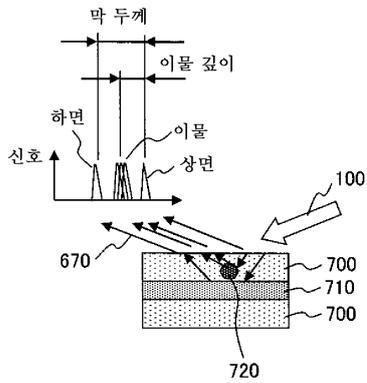
도면6c



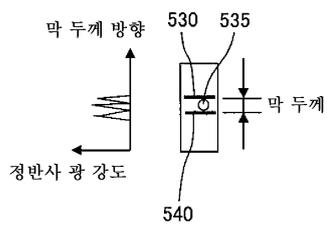
도면8a



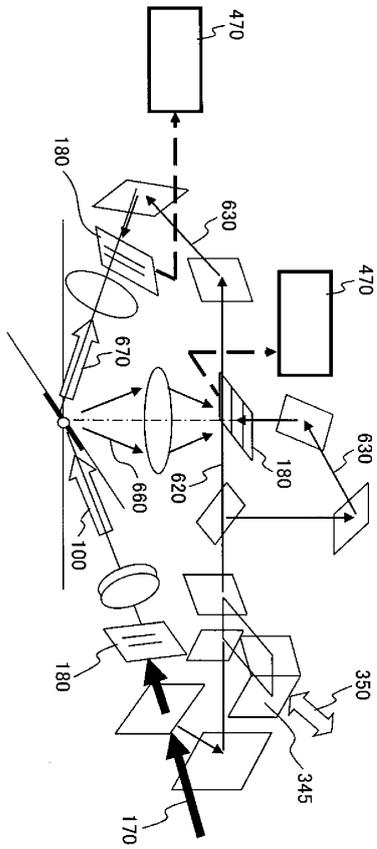
도면8b



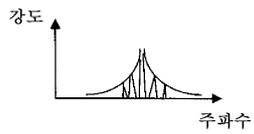
도면8c



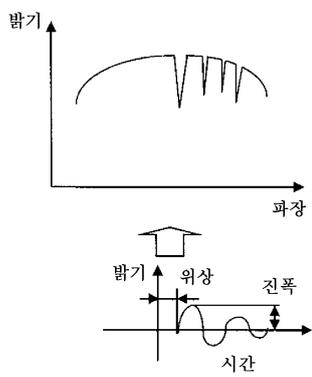
도면9a



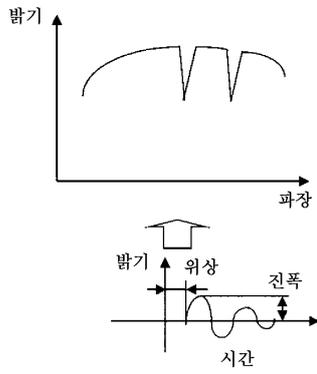
도면9b



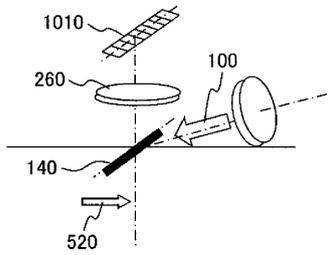
도면9c



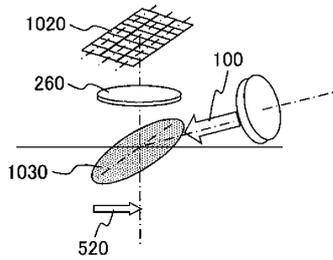
도면9d



도면10a



도면10b



도면11

