



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년01월16일
 (11) 등록번호 10-1350262
 (24) 등록일자 2014년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01N 21/31 (2006.01) G01B 9/02 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0017070
 (22) 출원일자 2012년02월20일
 심사청구일자 2012년02월20일
 (65) 공개번호 10-2013-0095544
 (43) 공개일자 2013년08월28일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2007232509 A
 JP2005091152 A
 '수소 가스 누출 감지를 위한 복합 페브리-페로 광섬유 간섭계', 한국광학회 2009년도 동계학술대회 논문집, PP. 339-340, 2009.02.

(73) 특허권자
 한국과학기술연구원
 서울특별시 성북구 화랑로14길 5 (하월곡동)
 (72) 발명자
 송용원
 대전광역시 중구 대흥로 176-15, 6동 1001호 (대흥동, 현대아파트)
 임정아
 충남 보령시 주산면 금암리 31번지
 배미경
 경기도 성남시 중원구 자혜로48번길 16, 1층 (금광동)
 (74) 대리인
 박장원

전체 청구항 수 : 총 6 항

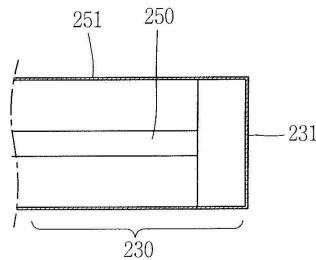
심사관 : 차영란

(54) 발명의 명칭 **광섬유 패브리-페롯 간섭계를 이용하는 가스 감지 장치**

(57) 요약

본 명세서는, 광원에서 형성된 빛에 대하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 의한 간섭파를 형성하는 헤더부, 및 상기 간섭파의 파장 변화를 기초로 특정 가스의 존재 여부를 판단하는 광 스펙트럼 분석기를 포함하되, 상기 헤더부는, 상기 특정 가스에 의하여 팽창 또는 수축하는 감지 물질을 포함하고, 상기 간섭파는, 상기 감지 물질의 팽창 또는 수축에 따라 상기 파장이 변화하는 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치 및 그 헤더부에 관한 것이다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2011-0028978

부처명 교과부

연구사업명 교과부 중견연구자 지원사업 핵심공동연구

연구과제명 인쇄기법에 의한 그래핀 기반 초고속 플렉서블 포토닉스 소자 연구

기여율 1/1

주관기관 한국과학기술연구원

연구기간 2011.09.01 ~ 2012.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

광원에서 형성된 빛에 대하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 반사 또는 투과 가능한 두 막을 형성하는 P4VP를 포함하고, 상기 두 막을 통하여 상기 광원에서 형성된 빛의 간섭파를 형성하는 헤더부; 및

상기 간섭파의 스펙트럼 주기성의 변화를 기초로 특정 가스의 존재 여부를 판단하는 광 스펙트럼 분석기를 포함하고,

상기 P4VP는,

상기 특정 가스에 의하여 팽창 또는 수축하고,

상기 간섭파는,

상기 P4VP의 팽창 또는 수축에 따라 스펙트럼 주기성이 변화하는 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 특정 가스는,

벤젠 계열 또는 니트로 계열 화합물을 포함하는 폭발성 가스 중 하나인 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

제 1 내지 제 3 포트를 가지고, 상기 1 포트로 입력되는 상기 광원에서 형성된 빛을, 상기 제 2 포트에 연결된 상기 헤더부로 출력하고, 상기 헤더부에서 형성되어 상기 제 2 포트로 입력되는 상기 간섭파를, 상기 제 3 포트에 연결된 상기 광 스펙트럼 분석기로 출력하는 서클레이터를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 헤더부는,

전반사를 이용하여 상기 광원에서 형성된 빛의 이동 경로를 제공하는 단일의 광섬유 또는 광 도파로를 더 포함하고,

상기 P4VP은,

상기 광섬유 또는 상기 광 도파로의 끝단에 드롭 캐스팅(drop casting) 방식으로 코팅되는 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치.

청구항 6

특정 가스를 검출하는 가스 감지 장치에 있어서,

전반사를 이용하여 광원에서 형성된 빛의 이동 경로를 제공하는 단일의 광섬유 또는 광 도파로;

상기 광섬유 또는 광 도파로의 끝단에 드롭 캐스팅(drop casting)방식으로 코팅되어 있으며, 상기 단일의 광섬유 또는 광 도파로를 통해 입사된 상기 광원에서 형성된 빛에 대하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 의한 간섭파를 형성하기 위하여 반사 또는 투과 가능한 두 막을 형성하는 P4VP를 포함하고,

상기 P4VP는,

상기 특정 가스에 의하여 팽창 또는 수축하고,

상기 간섭파는,

상기 P4VP의 팽창 또는 수축에 따라 스펙트럼 주기성이 변화하는 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치의 헤더부.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 특정 가스는,

벤젠 계열 또는 니트로 계열 화합물을 포함하는 폭발성 가스 중 하나인 것을 특징으로 하는 가스 감지 장치의 헤더부.

청구항 8

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 명세서는 광섬유 패브리-페롯 간섭계를 이용하는 가스 감지 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 과학과 산업의 발전에 따라 환경오염을 유발하는 유해 가스의 배출이 늘고 있다. 이로써, 유해한 물질을 검출하기 위한 가스 센서의 연구가 활발해지고 있다.

[0003] 기존의 가스 센서는 크게 접촉 연소식 가스 센서와 반도체식 가스 센서로 나뉘는데, 이러한 센서들은 몇 가지 문제점을 갖는다.

[0004] 접촉 연소식 가스 센서는 가연성 가스와 산소와의 연소반응시 반응열을 전기적 신호로 변환하여 가스농도를 검지하는 방법으로서, 가스가 촉매 표면에서 연소하여 연소열을 발생시키게 되는데, 이로 인한 열적 부하를 저하할 수 있는 필터가 함께 제공되어야 한다. 또한, 반응열을 전기적 신호로 처리하기 때문에 주변 자기장이나 전기장에 큰 영향을 받는다.

[0005] 반도체식 가스 센서 역시 반도체에 열을 가하여 가스가 흡착되게 함으로써 반도체의 전기전도도가 변화하는 것을 이용하므로, 열과 자기장, 전기장에 영향을 받는다. 뿐만 아니라 200 내지 300도로 온도를 가하기 위하여 긴 시간이 소모되며 계절에 따른 온습도 변화에 예민하며 감지 대상인 가스 이외에 다른 가스(알코올류, 용매증기 등)에 반응하는 경우도 발생한다.

[0006] 광학 방식을 이용한 가스 센서 기술 역시 광 투과 및 반사를 이용한 측정 장치들이 존재하는데, 광학 방식의 가스 센서는 소형화가 가능하여 제조 원가를 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한, 절연이 용이하고 전자파의 간섭을 받지 않으며, 원격 감지로서 압력, 습도, 화학 물질, 생체 분자의 감지에도 사용될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 명세서는, 광섬유 패브리-페롯 간섭계를 이용하는 광학 방식의 가스 감지 장치를 제공한다.

[0008] 또한, 본 명세서는, 특정 가스의 흡착에 의한 폴리머의 팽창 또는 수축에 따라, 간섭계에 의해 형성된 간섭파의 파장이 변화하여, 간섭파가 만드는 스펙트럼의 주기성이 변하는 현상을 이용하여 가스를 감지하는 가스 감지 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 명세서에 개시된 가스 감지 장치는, 광원에서 형성된 빛에 대하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 의한 간섭파를 형성하는 헤더부, 및 상기 간섭파의 스펙트럼 주기성의 변화를 기초로 특정 가스의 존재 여부를 판단하는 광 스펙트럼 분석기를 포함하되, 상기 헤더부는, 상기 특정 가스에 의하여 팽창 또는 수축하는 감지 물질을 포함하고, 상기 간섭파는, 상기 감지 물질의 팽창 또는 수축에 따라 상기 스펙트럼 주기성이 변화하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 또한, 상기 특정 가스는, 벤젠 계열 또는 니트로 계열 화합물을 포함하는 폭발성 가스 중 하나인 것을 특징으로

한다.

- [0011] 또한, 상기 감지 물질은, 폴리피리딘(polypyridine)계 고분자 또는 이를 포함하는 공중합체인 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또한, 제 1 내지 제 3 포트를 가지고, 상기 1 포트로 입력되는 상기 광원에서 형성된 빛을, 상기 제 2 포트에 연결된 상기 헤더부로 출력하고, 상기 헤더부에서 형성되어 상기 제 2 포트로 입력되는 상기 간섭파를, 상기 제 3 포트에 연결된 상기 광 스펙트럼 분석기로 출력하는 서큘레이터를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한, 상기 헤더부는, 전반사를 이용하여 상기 광원에서 형성된 빛의 이동 경로를 제공하는 광섬유 또는 광 도파로를 더 포함하고, 상기 감지 물질은, 상기 광섬유 또는 상기 광 도파로의 끝단에 코팅되는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 또한, 본 명세서에 개시된 가스 감지 장치의 헤더부는, 특정 가스를 검출하는 가스 감지 장치에 있어서, 전반사를 이용하여 광원에서 형성된 빛의 이동 경로를 제공하는 광섬유 또는 광 도파로, 및 상기 광섬유 또는 광 도파로의 끝단에 코팅되고, 상기 광섬유 또는 광 도파로를 통해 입사된 상기 광원에서 형성된 빛에 대하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 의한 간섭파를 형성하는 감지 물질을 포함하되, 상기 감지 물질은, 상기 특정 가스에 의하여 팽창 또는 수축하고, 상기 간섭파는, 상기 감지 물질의 팽창 또는 수축에 따라 스펙트럼 주기성이 변화하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 상기 특정 가스는, 벤젠 계열 또는 니트로 계열 화합물을 포함하는 폭발성 가스 중 하나인 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 상기 감지 물질은, 폴리피리딘(polypyridine)계 고분자 또는 이를 포함하는 공중합체인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0017] 본 명세서에 개시된 가스 감지 장치에 따르면, 고분자를 이용한 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리를 기초로 함으로써 광학식 가스 감지에 있어 높은 감도를 제공하며, 기존의 복잡한 광학식 가스센서에서 문제되었던 원상태 회복 (refresh)을 효과적으로 할 수 있다.
- [0018] 또한, 본 명세서에 개시된 가스 감지 장치에 따르면, 센서에 특정 가스의 흡착으로 인한 폴리머의 팽창 또는 수축으로 간섭파의 파장 및 스펙트럼 주기가 변화하는 현상을 이용함으로써, 상온/대기 중에서 작동하는 가스 센서에 있어서 더욱 월등한 경제성, 확장성, 센서 제작의 간편성, 가스 인/아웃의 확인 가능성을 제공한다.
- [0019] 또한, 본 명세서에 개시된 가스 감지 장치에 따르면, 센서 헤더부에 추가로 필요한 열원이나 작동 전원이 필요 없고, 광 스펙트럼 분석기에 나타나는 파형만으로 가스를 원거리에서 감지할 수 있어 관리와 구현이 용이한 광학계 센서를 현실화함으로써, 기존의 신뢰성이 낮은 나노 가스 센서에 대한 대체 기술로의 의의를 갖는다. 또한, 동작 원리에서 제공되는 초고감도 감지력은 폭발성 가스인 니트로 벤젠을 초기에 감지하는데 적합하며, 이러한 위급성 가스에 대해 선택적으로 작용하는 폴리머 물질을 발굴하여 간섭계를 제작한 것은 본 발명이 최초로 갖는 기술적 성과이다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 명세서에 개시된 광섬유 패브리-페롯 간섭계를 이용한 가스 감지 장치의 구조를 나타낸 블럭도이다.
- 도 3은 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 헤더부의 상세한 구조를 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 방법을 나타낸 순서도이다.
- 도 5는 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 헤더부의 SEM 이미지를 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 감지 물질로 사용된 P4VP의 팽창 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 간섭파의 스펙트럼 주기성이 변화한 결과를 나타낸 도면이다.

도 8은 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 헤더부의 측면에 대한 SEM 이미지를 나타낸 도면이다.

도 9는 개선된 공정을 통하여 감도를 향상시킨 헤더부에 대한 실험 결과를 나타낸 도면이다.

도 10은 개선된 공정을 통하여 감도를 향상시킨 헤더부에 대한 다른 실험 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 본 명세서에서 사용되는 기술적 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아님을 유의해야 한다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 기술적 용어는 본 명세서에서 특별히 다른 의미로 정의되지 않는 한, 본 명세서에 개시된 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 의미로 해석되어야 하며, 과도하게 포괄적인 의미로 해석되거나, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 기술적 용어가 본 명세서에 개시된 기술의 사상을 정확하게 표현하지 못하는 잘못된 기술적 용어일 때에는, 당업자가 올바르게 이해할 수 있는 기술적 용어로 대체되어 이해되어야 할 것이다.
- [0022] 또한, 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다." 또는 "포함한다." 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계를 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.
- [0023] 또한, 본 명세서에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다.
- [0024] 또한, 본 명세서에 개시된 기술을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 명세서에 개시된 기술의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 명세서에 개시된 기술의 사상을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 그 기술의 사상이 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 됨을 유의해야 한다.
- [0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 명세서에 개시된 실시 예들을 상세히 설명하도록 한다.
- [0026] 도 1은 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- [0027] 광섬유 패브리-페롯 간섭계(Fiber Fabry-Perot interferometer; FFPI)는 반사 가능한 두 개의 막으로부터 반사된 간섭파의 스펙트럼에 있어서 주기성을 갖게 되는데, 상기 두 막 사이의 거리 또는 간섭계를 구성하는 물질의 굴절률이 변하게 되면 상기 주기성도 변하게 된다. 광섬유 패브리-페롯 간섭계는 이러한 주기성의 변화를 이용하여 스펙트럼을 분석하는 원리를 사용한다. 이에 대하여 구체적으로 설명하면 아래와 같다.
- [0028] 도 1의 (a)는 두 개의 반사 가능한 막(111, 112)이 거리 L_0 를 갖고, 굴절률 n_0 를 갖는 물질(110)에 의하여 상기 막 사이가 채워져 있는 경우를 도시하였다.
- [0029] 상기 두 개의 막(111, 112)은 광섬유(120)와 상기 두 개의 막(111, 112) 사이의 물질(110)에 대한 경계면인 제 1 막(111) 및 상기 물질(110)과 외부(130)의 경계면인 제 2 막(112)을 포함한다.
- [0030] 상기 제 1 막(111)의 일면에 연결된 광섬유(120)는 임의의 파장(λ)을 갖는 빛을 상기 제 1 막(111)으로 조사한다. 상기 제 1 막(111)을 통과한 빛은 상기 광섬유(120)와 접촉하여 연결된 상기 물질(130)로 입사한다. 이때, 상기 광섬유(120)와 상기 물질(130)이 평행하여 연결된 경우, 상기 빛은 수직으로 입사하게 된다.
- [0031] 상기 물질(110)로 입사된 빛은 다시 제 2 막(112)으로 조사되고, 상기 외부 (130)로 투과하게 된다.
- [0032] 상기와 같은 이동 경로로 이동하는 빛은, 상기 광섬유(120), 상기 물질(110) 및 상기 외부(130)에 대한 굴절률 차이에 의해 상기 제 1 막(111) 및 상기 제 2 막(112)에서 일부가 반사되고 일부는 투과된다.
- [0033] 이에 따라, 상기 두 막(111, 112) 사이를 반복적으로 반사 및 투과하는 빛은 다시 상기 광섬유(120)로 되돌아오는 복수의 반사파(R1, R2)를 형성한다. 상기 복수의 반사파(R1, R2)는 상기 광섬유(120) 내에서 서로 간섭을 일으키고, 간섭으로 인해 최종적으로 결정된 간섭파를 형성하게 된다.

- [0034] 상기 간섭파는 일정한 파장을 갖게 되고, 파장에 따라 상기 간섭파의 스펙트럼은 주기성을 보이게 되며, 이 주기성은 상기 두 막(111, 112) 사이의 거리와 굴절률에 의한 함수로 나타내진다.
- [0035] 이렇게 형성된 최종 간섭파의 스펙트럼 주기성의 변화를 이용하여 물질을 감지하는 등의 목적으로 사용하는 것을 광섬유 패브리-페롯 간섭계(FPPI)라고 한다.
- [0036] 이러한 광섬유 패브리-페롯 간섭계에 있어서, 간섭계를 이루는 상기 물질(110) 또는 상기 외부(130)의 굴절률이 변화하게 되면, 상기 두 막(111, 112)에서 형성되는 각각의 반사파의 파장이 변하게 되고, 상기 최종 간섭파의 파장이 변하게 되어 스펙트럼 상의 주기 또한 변하게 된다.
- [0037] 결과적으로, 광섬유 패브리-페롯 간섭계는 상기 간섭파의 스펙트럼 주기성 변화에 의하여, 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 물질 변화를 일으키는 외부의 영향을 감지할 수 있다.
- [0038] 도 1의 (b)는 두 막(111, 112) 사이의 거리가 L_1 으로 변화하는 경우, 즉, 두 막(111, 112) 사이의 거리가 ΔL 만큼 증가하는 경우를 도시하였다.
- [0039] 상기 두 막(111, 112) 사이의 거리가 변하는 경우, 상기 입사파가 반사하면서 형성하게 되는 최종 정상파의 수는 공진 길이가 늘어남에 따라 증가하게 되므로, 상기 간섭파의 스펙트럼 주기도 짧아지게 된다. 따라서, 스펙트럼 상에서는 관찰되는 스펙트럼의 산과 골의 모양이 한쪽으로 이동하는 현상을 관찰할 수 있게 된다.
- [0040] 만약, 상기 두 막(111, 112) 사이의 물질(110)이 팽창하는 경우, 상기 물질(110)의 밀도가 낮아지게 되므로 상기 두 막(111, 112) 사이의 거리가 늘어날 뿐만 아니라, 상기 물질(110)의 굴절률도 변하게 된다. 이때, 입사파의 파장(λ)에 대한 상기 간섭파의 주기 변화에 따른 파장 변화량($\Delta \lambda$)은 아래의 수학적 식 1과 같다.

수학적 식 1

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda(n_0 \Delta L + \Delta n L_0)}{n_0 L_0}$$

- [0041]
- [0042] (여기서, $\Delta \lambda$ 는 입사파의 파장에 대한 간섭파의 파장 변화량, λ 는 입사파의 파장, n_0 는 두 막 사이의 물질에 대한 굴절률, Δn 은 두 막 사이의 물질에 대한 굴절률의 변화량, ΔL 은 두 막 사이의 거리 변화량, L_0 는 두 막 사이의 거리)
- [0043] 광섬유 패브리-페롯 간섭계는 임의의 두 막(111, 112) 사이의 거리 변화에 따른 간섭파의 파장 변화량($\Delta \lambda$) 및 이에 따른 스펙트럼 주기성의 변화를 기초로, 상기 두 막(111, 112) 사이를 채우는 물질(110)의 거리에 변화를 일으키는 외부의 영향을 감지할 수 있다.
- [0044] 이하, 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리를 이용한 가스 감지 장치에 대하여 설명하도록 한다.
- [0045] 도 2는 본 명세서에 개시된 광섬유 패브리-페롯 간섭계를 이용한 가스 감지 장치의 구조를 나타낸 블럭도이다.
- [0046] 도 2를 참조하면, 상기 가스 감지 장치(200)는 광원(210), 서큘레이터(circulator)(220), 헤더부(230), 광 스펙트럼 분석기(Optical Spectrum Analyzer; OSA)(240) 및 광섬유(250)를 포함할 수 있다.
- [0047] 상기 광원(210)은 백색광 또는 광대역 광(broadband light)을 발생시킬 수 있다. 상기 광원(210)에서 발생한 빛은 상기 서큘레이터(220)의 입력 포트로 조사될 수 있다. 또한, 상기 빛은 상기 서큘레이터(220)를 통하여 상기 헤더부(230)로 조사될 수 있다.
- [0048] 상기 광원(210)은 레이저 다이오드 또는 광대역 광원일 수 있다. 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 광원(210)은 어븀 첨가 광섬유 증폭기(Er-doped fiber amplifier; EDFA)일 수 있다.
- [0049] 상기 서큘레이터(220)는 제 1 내지 제 3 포트를 구비할 수 있다. 상기 서큘레이터(220)는 상기 제 1 포트에 입

력된 빛을 상기 제 2 포트에 출력하고, 상기 제 2 포트에 입력된 빛을 상기 제 3 포트에 출력하도록 구성될 수 있다.

- [0050] 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 서큘레이터(220)는 상기 제 1 포트에 입력되는 상기 광원(210)에서 형성된 빛을, 상기 제 2 포트에 연결된 상기 헤더부(230)로 출력하고, 상기 헤더부(230)에서 형성되어 상기 제 2 포트에 입력되는 상기 간섭파를, 상기 제 3 포트에 연결된 상기 광 스펙트럼 분석기(240)로 출력할 수 있다.
- [0051] 즉, 상기 서큘레이터(220)는 상기 광원(210), 상기 헤더부(230) 및 상기 광 스펙트럼 분석기(240) 사이에 위치하여, 상기 광원(210)에서 발생한 빛의 경로를 전환할 수 있다. 이때, 상기 서큘레이터(220)의 상기 제 1 포트는 상기 광원(210)과 연결되고, 상기 제 2 포트는 상기 헤더부(230)와 연결되며, 상기 제 3 포트는 상기 광 스펙트럼 분석기(240)와 연결될 수 있다.
- [0052] 상기 서큘레이터(220)는 상기 빛의 경로를 조절하기 위해 빛을 반사시키는 거울 또는 편광 조절 소자 등을 구비할 수 있다.
- [0053] 상기 헤더부(230)는 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 의한 간섭파를 형성한다. 상기 헤더부(230)는 상기 광원(210)으로부터 조사된 빛에 대하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 의한 상기 간섭파를 형성할 수 있다.
- [0054] 상기 헤더부(230)는 상기 간섭파를 형성하기 위하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 두 막으로써 작용하는 감지 물질을 포함할 수 있다. 상기 감지 물질은 상기 광원(210)으로부터 조사된 빛이 상기 감지 물질의 양 끝단을 두 막으로 하여 반복적인 반사 및 투과 현상에 의해 임의의 파장 및 스펙트럼 주기성을 갖는 간섭파를 형성하도록 할 수 있다.
- [0055] 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 감지 물질은 특정 가스와의 흡착에 의하여 팽창 또는 수축할 수 있다. 예를 들어, 상기 감지 물질은 상기 특정 가스와 결합에 의하여 팽창하고, 상기 특정 가스와 결합하지 않는 경우 수축하는 물질일 수 있다. 또한, 상기 간섭파는 상기 감지 물질의 팽창 또는 수축에 의하여 상기 파장이 변화할 수 있다.
- [0056] 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 특정 가스는 폭발성 가스로 니트로 벤젠(Nitrobenzene; NB) 등의 벤젠 계열 가스 또는 니트로에탄(nitroethane), 니트로메탄(nitromethane) 등의 니트로 계열 화합물 중 하나일 수 있다.
- [0057] 또한, 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 감지 물질은 폴리피리딘(polypyridine)계 고분자 또는 이를 포함하는 공중합체일 수 있다.
- [0058] 상기 헤더부(230)의 보다 구체적인 구성은 하기에서 도 3을 예로 들어 상세히 설명하기로 한다.
- [0059] 상기 광 스펙트럼 분석기(240)는 상기 간섭파의 파장 변화를 기초로 특정 가스의 존재 여부를 판단한다. 즉, 상기 광 스펙트럼 분석기(240)는 상기 헤더부(230)에서 형성된 상기 간섭파의 스펙트럼을 관찰하여, 스펙트럼 주기성이 변화하는지 여부를 기초로 상기 특정 가스의 존재 여부를 판단할 수 있다.
- [0060] 이를 위해, 상기 광 스펙트럼 분석기(240)는 상기 간섭파의 스펙트럼을 측정할 수 있다. 상기 광 스펙트럼 분석기(240)는 상기 광 스펙트럼 분석기(240)로 입사되는 상기 간섭파를 수광기(예를 들어, 포토 다이오드 등)로 수광하고, 전류로 바꾸어 스펙트럼을 디스플레이 상에 표시할 수 있다. 상기 광 스펙트럼 분석기(240)에 의한 빛의 특성은 파장, 주기성, 빛의 강도 등을 포함할 수 있다.
- [0061] 상기 가스 감지 장치(200)를 구성하는 각 구성 요소들은 상기 광섬유(250)를 통해 연결될 수 있다. 또는, 상기 각 구성 요소들은 상기 광섬유(250)를 대신하여 평판 광 도파로를 통해 연결될 수 있다.
- [0062] 상기 광섬유(250)는 전반사를 이용하여 상기 광원(210)에서 형성된 빛의 이동 경로를 제공할 수 있다. 상기 광섬유(250)는 상기 산소 감지 장치(200)를 구성하는 각 구성 요소들을 연결하고, 상기 광원(210)에서 형성된 빛이 상기 각 구성 요소들 간을 이동할 수 있도록 이동 경로를 제공할 수 있다.
- [0063] 구체적으로, 상기 광섬유(250)는 상기 광원(210)에서 형성된 빛이 상기 서큘레이터(220)를 통하여 상기 헤더부(230)로 조사되고, 상기 헤더부(230)에서 형성된 간섭파가 상기 서큘레이터(220)를 통하여 상기 광 스펙트럼 분석기(240)로 조사될 수 있도록 할 수 있다.
- [0064] 상기 광섬유(250)는 에너지 소실 없이 빛을 이동시키기 위하여, 빛의 전반사를 유도하는 코어(core) 및 클래딩(cladding)으로 구성될 수 있다.

- [0065] 상기 광섬유(250)는 페룰(ferrule)에 의해 지지 될 수 있다. 상기 광섬유(250)는 상기 페룰에 삽입되어 하나의 조립체를 이룰 수 있다. 상기 페룰은 상기 광섬유를 지지하기 위하여, 상기 광섬유의 측면을 둘러쌀 수 있다. 상기 광섬유(250)는 상기 페룰에 의해 지지가 되어, 각 구성요소의 정확한 위치로 빛의 조사를 유지할 수 있다.
- [0066] 도 2에 도시한 가스 감지 장치(200)의 구성 요소가 모두 필수 구성 요소인 것은 아니며, 도 2에 도시한 구성 요소보다 많거나 적은 구성 요소에 의해 가스 감지 장치(200)가 구현될 수 있다.
- [0067] 도 3은 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 헤더부의 상세한 구조를 나타낸 도면이다.
- [0068] 도 3을 참조하면, 상기 헤더부(230)는 광섬유(250) 및 감지 물질(231)을 포함할 수 있다.
- [0069] 상기 광섬유(250)는 전반사를 이용하여 상기 광원(210)에서 형성된 빛의 이동 경로를 제공할 수 있다. 즉, 상기 광섬유(250)는 상기 광원(210)에서 발생한 빛을 상기 헤더부(230)로 조사되도록 이동 경로를 제공할 수 있다.
- [0070] 상기 헤더부(230)는 상기 광섬유(250)를 대신하여 평판 광 도파로를 이용하여 상기 광원(210)에서 형성된 빛의 이동 경로를 제공할 수 있다. 상기 광 도파로는 상기 광섬유(250)에 비하여 길이가 짧고 두께가 훨씬 가늘어 상기 헤더부(230) 및 상기 헤더부(230)를 포함하는 상기 가스 감지 장치(200)의 집약적(intensive) 구성이 가능하며, 상기 광원(210)에서 형성된 빛의 직경을 변화시키는데 유용할 수 있다.
- [0071] 상기 광섬유(250)는 에너지의 손실 없이 빛을 상기 센서(130)로 조사하기 위하여, 빛의 전반사를 유도하는 코어(core) 및 클래딩(cladding)으로 구성될 수 있다.
- [0072] 상기 광섬유(250)는 페룰(ferrule)(251)에 의해 지지 될 수 있다. 상기 광섬유(250)는 상기 페룰에 삽입되어 하나의 조립체를 이룰 수 있다. 상기 광섬유(250)는 상기 페룰(251)에 의해 지지가 되어, 상기 헤더부(230)에 수직으로 빛이 조사되도록 할 수 있다.
- [0073] 상기 감지 물질(231)은 상기 광원(210)에서 형성된 빛에 대하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 의한 간섭파를 형성할 수 있다.
- [0074] 구체적으로, 상기 감지 물질(231)은 상기 광섬유(250)(또는, 상기 페룰(251)을 포함)의 끝단에 코팅되고, 상기 광섬유(250)를 통해 입사된 상기 광원(210)에서 형성된 빛에 대하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 의한 간섭파를 형성할 수 있다.
- [0075] 이때, 상기 광섬유(250)와 연결되는 상기 감지 물질(231)의 전단 및 외부와 연결되는 상기 감지 물질(231)의 후단은 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 두 막으로써 작용하여 굴절률의 변화에 따른 반복적인 반사 및 투과 작용을 일으킨다. 이 과정에서 주기적인 보강 간섭이 일어나 상기 두 막 사이에 복수의 정상파를 형성하게 되고, 결과적으로 스펙트럼 상에서 일정한 주기성을 갖는 최종 간섭파를 형성하게 된다. 상기 감지 물질(231)에 의한 광섬유 패브리-페롯 간섭계를 통해 형성된 간섭파는 상기 두 막 사이의 거리 및/또는 상기 감지 물질(231)의 굴절률에 따라 임의의 파장을 가질 수 있다.
- [0076] 상기 감지 물질(231)은 특정 가스에 의하여 팽창 또는 수축할 수 있다.
- [0077] 구체적으로, 상기 감지 물질(231)은 상기 가스 감지 장치(200)의 감지 대상인 특정 가스와 결합하여 팽창하는 물질일 수 있다. 상기 감지 물질(231)은 상기 특정 가스와 결합에 의하여 팽창하며, 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 있어서 두 막 사이의 거리가 증가하는 것과 같은 작용을 할 수 있다.
- [0078] 따라서, 상기 감지 물질(231)의 팽창 또는 수축에 의해, 상기 스펙트럼 주기성이 변화할 수 있다. 상기 가스 감지 장치(200)는 이러한 간섭파의 스펙트럼 주기 변화 여부를 기초로, 상기 특정 가스를 감지할 수 있다.
- [0079] 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 감지 물질(231)은 폴리피리딘(polypyridine)계 고분자 또는 이를 포함하는 공중합체일 수 있다. 상기 폴리피리딘계 고분자는, 예를 들어, P2VP, P4VP 등으로 대표되는 PnVP 일 수 있다. 또한, 상기 폴리피리딘계를 포함하는 공중합체는 PS-co-P2VP, PS-co-P4VP, P2VP-co-P4VP 등일 수 있다.
- [0080] 상기 감지 물질(231)은 상기 특정 가스에 의해 쉽게 팽창될 수 있는 고분자 물질로, 용매에 잘 용해되어 부드러운 박막을 제조하는데 용이하며, 투과율이 좋아 광학 감지 장치(센서)로 응용하기에 적합할 수 있다.
- [0081] 또한, 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 특정 가스는 폭발성 가스일 수 있다. 상기 폭발성 가스는,

예를 들어, 니트로 벤젠(Nitrobenzene; NB) 등의 벤젠 계열 가스 또는 니트로에탄(nitroethane), 니트로메탄(nitromethane) 등의 니트로 계열 화합물 중 하나일 수 있다.

- [0082] 상기 벤젠 계열 가스 또는 니트로 계열의 화합물은 폭발성 가스로 분류되며, 폭발시 파괴력이 크고 동성이 강하여 주의가 요구될 수 있다. 특히, 상기 니트로 벤젠은 피부에 흡수되기 쉬워 그 위험성이 매우 큰 물질로 분류된다.
- [0083] 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 감지 물질(231)은 상기 광섬유(250)의 끝단에 코팅될 수 있다.
- [0084] 상기 감지 물질(231)을 상기 광섬유(250) 끝단에 코팅하는 방법은, 하기에서 상세히 설명하도록 한다.
- [0085] 도 4는 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 방법을 나타낸 순서도이다.
- [0086] 도 4를 참조하면, 먼저 상기 가스 감지 장치(200)는 빛을 형성한다(S410).
- [0087] 상기 가스 감지 장치(200)는 상기 광원(210)을 이용하여 빛을 형성할 수 있다.
- [0088] 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 가스 감지 장치(200)는 어븀 첨가 광섬유 증폭기(Er-doped fiber amplifier; EDFA)를 이용하여 빛을 형성할 수 있다.
- [0089] 그 다음, 상기 가스 감지 장치(200)는 간섭파를 형성한다(S420).
- [0090] 상기 가스 감지 장치(200)는 상기 헤더부(230)에 의하여 상기 형성된 빛에 대하여 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 원리에 의한 간섭파를 형성할 수 있다.
- [0091] 상기 가스 감지 장치(200)는 상기 헤더부(230)에 포함된 상기 감지 물질(231)을 통하여 상기 간섭파를 형성할 수 있다. 상기 감지 물질(231)은 상기 형성된 빛이 상기 감지 물질(231)의 양 끝단을 두 개의 막으로 하여 반복적인 반사 및 투과 현상에 의해 임의의 파장을 갖는 간섭파를 형성하도록 할 수 있다.
- [0092] 본 명세서에 개시된 실시 예에 따르면, 상기 감지 물질(231)은 특정 가스와의 흡착에 의하여 부피가 변화할 수 있다(S430). 예를 들어, 상기 감지 물질(231)은 상기 특정 가스와 결합하여 팽창하거나, 상기 특정 가스와 결합이 끊어져 수축할 수 있다.
- [0093] 상기 간섭파는, 이러한 상기 감지 물질(231)의 팽창 또는 수축에 의하여 상기 스펙트럼 주기성이 변화할 수 있다.
- [0094] 마지막으로, 상기 가스 감지 장치(200)는 상기 간섭파의 스펙트럼 주기성 변화를 기초로 특정 가스의 존재 여부를 판단한다(S440).
- [0095] 상기 가스 감지 장치(200)는 상기 광 스펙트럼 분석기(240)를 이용하여 상기 간섭파의 파장 변화에 의한 스펙트럼 주기 변화를 분석하고, 분석 결과에 따라 스펙트럼 주기가 변화한 경우, 상기 특정 가스의 존재 여부를 판단할 수 있다.
- [0096] 상기 가스 감지 장치(200)는 상기 감지 물질(231)이 상기 특정 가스와 결합하여 팽창함으로써, 상기 간섭파의 스펙트럼 주기가 변화하였는지 분석할 수 있다. 상기 파장이 상기 특정 가스가 존재하지 않을 때와 비교하여 변화한 경우, 상기 가스 감지 장치(200)는 공기 중에 상기 특정 가스가 존재하는 것으로 판단할 수 있다.
- [0097] 이하에서는, 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치(200)를 이용하여 특정 가스를 감지한 결과를 분석하여 설명한다.
- [0098] 이하의 결과는 상기 특정 가스로 니트로 벤젠을 감지하기 위해 상기 감지 물질로 고분자 P4VP를 사용하여 감지한 결과를 분석하여 얻은 것이다. 상기 광원으로는 EDFA를 사용하였고, OSA를 이용하여 상기 서클레이터를 통해 감지 물질에서 반사되어 돌아오는 간섭파의 스펙트럼을 얻었다.
- [0099] 도 5는 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 헤더부의 SEM 이미지를 나타낸 도면이다.
- [0100] 도 5를 참조하면, 니트로 벤젠을 감지하기 위한 고분자 P4VP가 코팅된 상기 헤더부(230)의 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscop; SEM) 이미지가 도시되어 있다.
- [0101] 상기 SEM 이미지는 상기 고분자 P4VP의 코팅 유무를 확인하기 위해 상기 고분자 P4VP가 부분적으로 코팅된 샘플

을 사용하여 촬영되었다.

- [0102] 상기 헤더부(230)의 상기 광섬유(250) 일면에 상기 P4VP를 코팅하는 방법을 구체적으로 살펴보면 아래와 같다.
- [0103] 우선, 상기 P4VP는 다이메틸폼아마이드(dimethylformamide; DMF) 용매에 용해되어, 액상의 P4VP로 제작될 수 있다. 이때, 상기 P4VP와 상기 다이메틸폼아마이드의 비율은 조절될 수 있다.
- [0104] 본 명세서에 개시된 실시 예에서, 상기 P4VP는 상기 헤다이메틸폼아마이드(dimethylformamide; DMF) 용매에 14.5wt%로 혼합하여 용해되었다.
- [0105] 그 후, 상기 액상의 P4VP는 상기 광섬유(250)의 끝단에 코팅될 수 있다. 이때, 상기 액상의 P4VP는 상기 광섬유(250)의 끝단에 균일하게 코팅될 수 있도록, 드롭 캐스팅(drop casting) 방식으로 코팅될 수 있다.
- [0106] 또한, 상기 액상의 P4VP는 상기 광섬유(250) 대신 제작의 편이를 위해 길이가 짧은 패치 코드(patch cord) 끝단에 코팅될 수 있다. 이 경우, 상기 패치 코드 끝단에 상기 액상의 P4VP를 코팅하고, 상기 광섬유(250) 끝단에 스플라이서 등을 이용하여 상기 패치 코드를 연결할 수 있다.
- [0107] 본 명세서에 개시된 실시 예에서, 상기 액상의 P4VP는 상기 패치 코드 끝단에 0.2 μ l가 코팅되었다.
- [0108] 마지막으로, 상기 P4VP가 코팅된 상기 광섬유(250)는 열처리를 통해 다이메틸폼아마이드 용매가 제거할 수 있다.
- [0109] 본 명세서에 개시된 실시 예에서, 상기 광섬유(250)는 다이메틸폼아마이드의 영향이 없도록 섭씨 80도의 오븐에서 30분 동안 열처리를 하였다.
- [0110] 상기에서 P4VP 코팅 방법의 일 예를 들어 설명하였으나, 이에 특별히 한정되지 않고, 다양한 방법에 의하여 광섬유 끝단에 감지 물질을 균일하게 코팅할 수 있으며, 필요에 따라 코팅 방법에 수정 또는 변형이 있을 수 있다.
- [0111] 도 6은 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 감지 물질로 사용된 P4VP의 팽창 결과를 나타낸 도면이다.
- [0112] 도 6을 참조하면, 상기 P4VP의 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy; FTIR)을 통한 흡수 스펙트럼을 확인할 수 있다.
- [0113] 상단의 흡수 스펙트럼은 코팅된 P4VP에 대한 흡수 스펙트럼이고, 중단의 흡수 스펙트럼은 니트로 벤젠 가스에 대한 흡수 스펙트럼이다.
- [0114] 하단의 흡수 스펙트럼은 코팅된 P4VP가 니트로 벤젠에 노출된 경우의 흡수 스펙트럼을 나타낸다. 하단의 흡수 스펙트럼을 참조하면, P4VP 흡수 스펙트럼 상에 니트로 벤젠의 흡수 스펙트럼 피크가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 코팅된 P4VP가 니트로 벤젠에 노출되면, 니트로 벤젠의 흡수가 일어난다는 것을 나타낸다.
- [0115] 도 7은 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 간섭파의 스펙트럼 주기성이 변화한 결과를 나타낸 도면이다.
- [0116] 도 7에 있어서, 상기 간섭파의 스펙트럼 주기성의 변화는 스펙트럼 상의 골과 산을 정하여 이들의 움직임으로 측정할 수 있다.
- [0117] 파장 이동 결과를 확인하기 위해, P4VP가 코팅된 광섬유로 니트로 벤젠을 유입하였다가 다시 유출(refresh)하는 과정을 수행하였다. 이때, P4VP가 코팅된 광섬유에 니트로 벤젠을 유입한 후부터 시간의 흐름에 따른 간섭파의 스펙트럼 주기성의 변화를 그래프로 확인할 수 있다.
- [0118] 도 7을 참조하면, 니트로 벤젠 가스가 유입되고 약 8분 후부터 간섭파의 스펙트럼 주기성이 장파장으로 이동되기 시작하며 약 48분까지 총 13.6nm 변화하는 것을 확인할 수 있다. 일정한 값에서 이동 추이가 완화되는 것은, 니트로 벤젠에 의한 P4VP의 팽창이 포화상태에 이르렀다는 것을 의미한다.
- [0119] 또한, 니트로 벤젠 가스가 유출됨과 함께, 간섭파의 스펙트럼 주기성이 단파장으로 이동하여 약 10분이 경과 한 후, 니트로 벤젠이 유입되기 전인 정상상태의 주기로 돌아가는 것을 확인할 수 있다.

- [0120] 이로써, P4VP를 이용하여 니트로 벤젠을 검출하는 가스 검출 장치가 폭발성 물질인 니트로 벤젠과 반응하여 팽창하고 수축할 뿐 아니라, 광섬유 패브리-페롯 간섭계의 막으로써 작용하여 간섭과의 스펙트럼 주기성 변화를 일으켜 니트로 벤젠을 감지할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.
- [0121] 또한, 도 7은 상기 간섭과의 스펙트럼 주기성 변화가 가장 빠르게 발생하는 시간대의 강도(intensity) 곡선을 추가로 나타내었다. 상기 강도 곡선은 2분 간격으로 최대 파장에 따른 강도를 나타낸다. 이에 따르면, 상기 최대 파장은 약 13분 동안 1544.2nm에서 1552.8nm로 8nm의 주기성이 이동한 것을 확인할 수 있다.
- [0122] 도 7에 나타난 결과는, 기존의 가스 감지 장치와 비교하여 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치가 가스에 대한 매우 높은 민감도를 가지며, 상당히 빠른 반응 속도를 갖는다는 것을 보여준다.
- [0123] 도 8은 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 가스 감지 장치에 있어서 헤더부의 측면에 대한 SEM 이미지를 나타낸 도면이다.
- [0124] 도 8을 참조하면, 니트로 벤젠의 유입에 따라 팽창되는 고분자 P4VP의 두께를 확인하기 위하여, P4VP가 코팅된 상기 헤더부(230)의 측면의 주사 전자 현미경 (Scanning Electron Microscop; SEM)을 통해 얻은 이미지가 도시되어 있다.
- [0125] 상기 SEM 이미지는 상기 고분자 P4VP의 팽창 유무를 확인하기 위해 니트로벤젠 유출 전과 후로 구분하여 도시되었다.
- [0126] 또한, 니트로 벤젠으로의 노출 여부에 따라 변화하는 고분자 P4VP 이미지를 얻기 위해, SEM 측정 시 저 진공에서 측정하였다.
- [0127] 따라서, 도 8에 도시된 SEM 이미지는 고분자 P4VP의 팽창 여부만 나타나도, 니트로 벤젠의 농도에 따른 고분자 P4VP의 두께 변화는 나타나지 않았다.
- [0128] 도 9는 개선된 공정을 통하여 감도를 향상시킨 헤더부에 대한 실험 결과를 나타낸 도면이다.
- [0129] 도 9에 도시된 그래프는, 개선된 공정을 통하여 감도를 향상시킨 헤더부의 니트로 벤젠 농도에 따른 스펙트럼 주기 변화 특성을 확인하기 위한 실험 결과에 따른 그래프이다.
- [0130] 개선된 공정을 통하여 감도를 향상시킨 헤더부는, 니트로 벤젠의 농도가 13ppm, 12ppm, 10ppm인 경우에 대하여 실험이 수행되었다. 이때, 고분자 P4VP가 코팅된 광섬유 헤더부에 각각의 농도를 갖는 니트로 벤젠 가스를 유입하여 별개의 실험을 수행하였다.
- [0131] 도 9를 참조하면, 고분자 P4VP가 코팅된 광섬유 헤더부에 니트로 벤젠을 유입한 후부터 시간의 흐름에 따른 간섭과의 스펙트럼 주기성 변화를 각각의 농도별로 확인할 수 있다.
- [0132] 시간의 흐름에 따른 간섭과의 주기 변화 곡선은 니트로 벤젠의 농도에 따라 서로 다르게 나타나며, 이로써 간섭과의 주기 변화가 니트로 벤젠의 농도에 따라 서로 다른 특성을 보이고, 고농도에서 고분자 P4VP와 니트로 벤젠이 더 빠르게 반응하여 주기 변화를 일으킨다는 것을 확인할 수 있다.
- [0133] 도 10은 개선된 공정을 통하여 감도를 향상시킨 헤더부에 대한 다른 실험 결과를 나타낸 도면이다.
- [0134] 도 10에 도시된 그래프는, 개선된 공정을 통하여 감도를 향상시킨 헤더부에 있어서 니트로 벤젠의 유입과 유출이 반복적으로 시행될 때, 스펙트럼 주기 변화 특성을 확인하기 위한 실험 결과에 따른 그래프이다.
- [0135] 도 10을 참조하면, 고분자 P4VP가 코팅된 광섬유에 니트로 벤젠을 유입과 유출을 시작한 후부터 시간의 흐름에 따른 간섭과의 주기 변화를 그래프로 확인할 수 있다.
- [0136] 간섭과의 스펙트럼 주기성은 반복되는 니트로 벤젠 가스의 유입과 유출시 파장이 정상 상태의 파장으로 완벽히 돌아가지 않는데, 이는 폴리머의 특성상 가스의 유출시 니트로 벤젠 분자들이 일부 외부로 빠져나오지 못하면서 생기는 결과이다.
- [0137] 도 10에 도시된 그래프를 참조하면, 최초 가스 유입시보다 반복적인 이후의 가스의 유입시 동일한 임의의 시간

에 더 많은 파장이 이동하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 헤더부를 포함하는 가스 센서가 반복적 사용이 가능할 뿐 아니라 더 우수한 감도를 가질 수 있음을 알 수 있다.

[0138] 또한, 도시된 그래프에서 총 4번의 니트로 벤젠 유입과 유출을 실험하여 70 nm의 파장의 변화가 확인되었으며, 파장의 변화에 불구하고 포화 특성이 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 이로써 니트로 벤젠 가스의 반복적 유입에 의하여 가스 센서의 간섭파의 더 많은 파장의 변화가 가능할 것으로 생각될 수 있다.

[0139] 본 실험의 수행 결과, 본 명세서에 개시된 실시 예에 따른 헤더부를 포함하는 가스 센서는, 검출부에서 사용되는 OSA의 분해능(resolution)이 <0.02nm임을 고려할 때, 니트로 벤젠의 최소 측정 범위는 <20 ppb를 가질 수 있는 것을 확인할 수 있다.

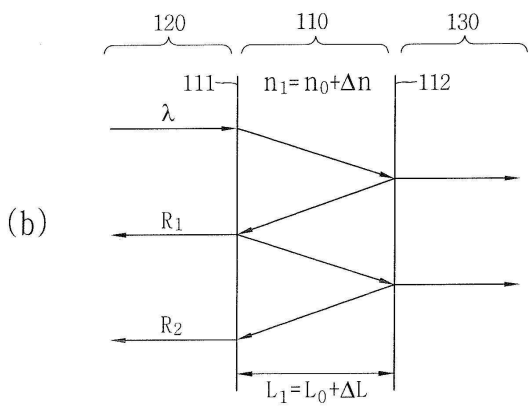
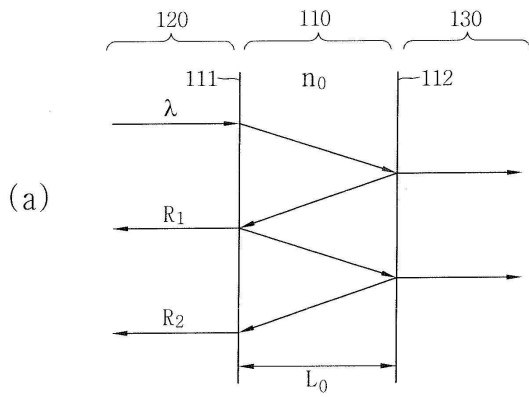
[0140] 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

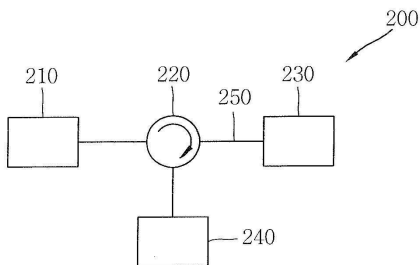
- [0141] 100: 가스 감지 장치 110: 광원
 120: 서큘레이터 130: 헤더부
 140: 광 스펙트럼 분석기

도면

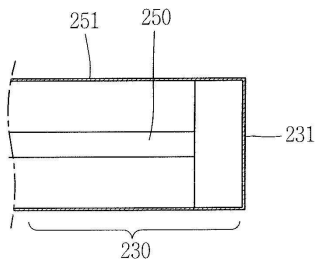
도면1



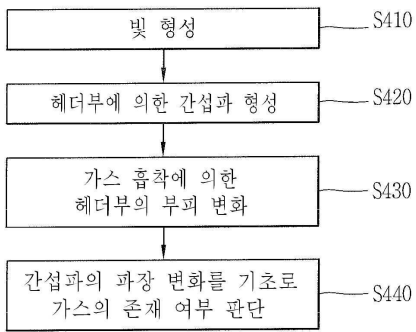
도면2



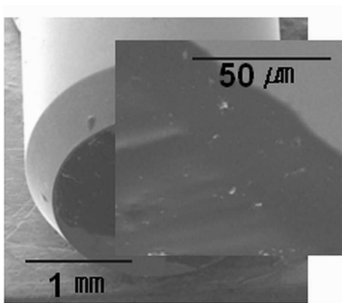
도면3



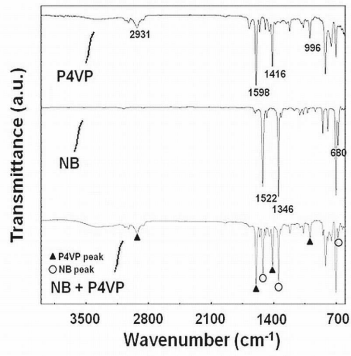
도면4



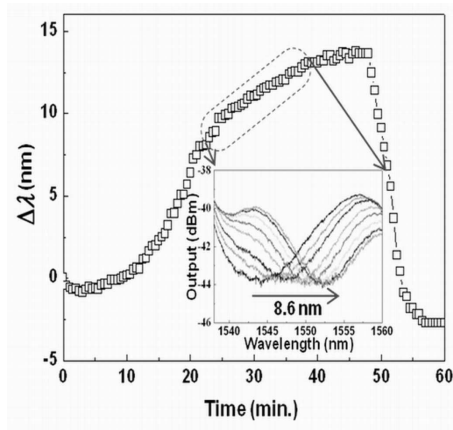
도면5



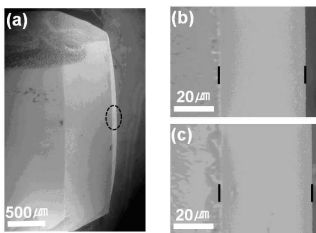
도면6



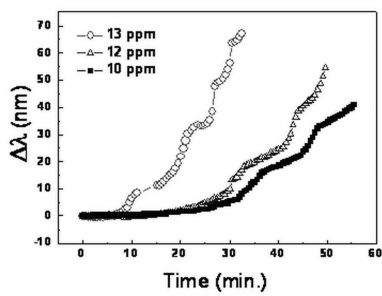
도면7



도면8



도면9



도면10

