



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0101182
(43) 공개일자 2009년09월24일

(51) Int. Cl.

G01N 27/26 (2006.01) C23F 13/00 (2006.01)

G01N 17/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-7012539

(22) 출원일자 2007년12월20일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2009년06월17일

(86) 국제출원번호 PCT/US2007/088318

(87) 국제공개번호 WO 2008/079946

국제공개일자 2008년07월03일

(30) 우선권주장

11/613,670 2006년12월20일 미국(US)

(71) 출원인

쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박스 33427 쓰리엠 센터

(72) 발명자

왕, 덩

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

유, 스티븐 와이.

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

(74) 대리인

김영, 양영준

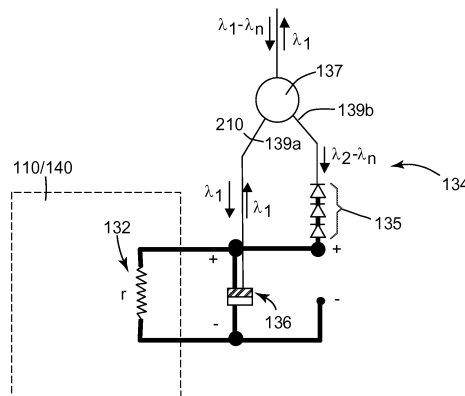
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 검출 시스템

(57) 요약

공학적 구조물을 모니터링하는 검출 시스템은 공학적 구조물 상에 미리 정해진 패턴으로 배치가능하고 공학적 구조물의 표면과 상기 표면을 실질적으로 덮는 보호 코팅 사이에 배치가능한 센서들의 어레이를 포함한다. 검출 시스템은 센서들로부터 데이터를 검색하기 위해 센서들의 어레이와 통신하는 제어기를 또한 포함한다. 제어기는 광섬유 백본을 통해 센서 어레이와 통신한다. 센서들의 어레이는 보호 코팅의 경화도, 경화된 보호 코팅의 건진성, 및 센서들 각각에서의 공학적 구조물의 부식 속도 중 적어도 하나에 대응하는 데이터를 원격 제공할 수 있다.

대표도 - 도3B



특허청구의 범위

청구항 1

공학적 구조물 상에 미리 정해진 패턴으로 배치가능하고, 공학적 구조물의 표면과 상기 표면을 실질적으로 덮는 보호 코팅 사이에 배치가능한 센서들의 어레이;

센서들로부터 데이터를 검색하는 제어기; 및

제어기에 의해 생성된 광 신호를 센서들의 어레이에 결합시키는 하나 이상의 광섬유를 포함하며,

센서들의 어레이는 보호 코팅의 경화도(degree of cure), 경화된 보호 코팅의 건전성(health), 및 센서들 각각에서의 공학적 구조물의 부식 속도 중 적어도 하나에 대응하는 데이터를 제공하는, 공학적 구조물의 물리적 상태를 모니터링하는 검출 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 어레이의 적어도 하나의 센서는,

임피던스, 전류, 및 전압 중 적어도 하나를 검출하도록 구성되고 가요성 기판 상에 배치된 감지 부분; 및

제어기에 의해 생성된 광 신호를 수신하는 광전자 인터페이스

를 포함하는 검출 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서, 제어기는,

데이터 획득 시스템; 및

광 신호를 생성하는 광원

을 포함하는 검출 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서, 광원은 연속 광대역 소스(source), 가변 파장 레이저원, 및 일련의 협대역 광원 중 적어도 하나를 포함하는 검출 시스템.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 제어기는,

광 서큘레이터(optical circulator); 및

센서 어레이의 센서들 중 하나 이상으로부터 귀환 광 신호를 수신하는 광 스펙트럼 분석기

를 추가로 포함하는 검출 시스템.

청구항 6

제2항에 있어서, 광 신호의 일부분을 센서 어레이의 센서에 분배하기 위해 하나 이상의 광섬유들의 광섬유에 결합된 신호 분배 장치(tap-off device)를 추가로 포함하고, 광 신호의 나머지 부분은 센서 어레이의 다른 센서들에 분배되는 검출 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서, 센서의 광전자 인터페이스는 미리 정해진 광 채널을 선택하고 선택된 광 신호를 제1 광 경로를 따라 전송하고 광 신호의 나머지 부분을 제2 경로를 따라 전송하는 광 신호 디멀티플렉서(demultiplexer)를 포함하는 검출 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 센서의 광전자 인터페이스는 제1 광 경로 상에 배치된 전기 변색 스위치(electro-chromic switch) 및 상기 제2 광 경로 상에 배치된 다이오드 어레이를 추가로 포함하는 검출 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서, 다이오드 어레이는 제2 경로를 따른 광 신호의 나머지 부분을 전기 변색 스위치용 전원을 제공하는 전기 신호로 변환하는 PIN 다이오드 어레이를 포함하는 검출 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서, 전기 변색 스위치는 사이에 전압-감응 물질이 배치된 적어도 제1 및 제2 광 투과성 물질을 포함하며, 광 투과성 물질들 중 적어도 하나는 그의 표면 상에 배치된 고반사성 코팅을 추가로 포함하는 검출 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서, 전기 변색 스위치는 선택된 광 신호의 일부분을 제1 광 경로를 따라 다시 반사시키고, 상기 일부분은 제어기에 의해 수신되며, 반사된 광 신호의 양은 보호 코팅의 상태에 대응하는 검출 시스템.

청구항 12

제9항에 있어서, 전기 변색 스위치에 전력을 제공하는 데 이용가능한 전력량은 감지 부분으로 인한 임피던스에 대응하는 검출 시스템.

청구항 13

제7항에 있어서, 디멀티플렉서는 박막 채널 선택기를 포함하는 검출 시스템.

청구항 14

제2항에 있어서, 감지 부분은 공학적 구조물의 평탄하지 않은 표면 상에 배치가능한 검출 시스템.

청구항 15

제2항에 있어서, 감지 부분은 가요성 기판 상에 적어도 2개의 전극으로서 패터닝된 전도성 요소를 포함하는 검출 시스템.

청구항 16

제1항에 있어서, 공학적 구조물은 금속, 복합 재료, 세라믹 재료, 및 유리 섬유 재료를 포함하는 검출 시스템.

청구항 17

제1항에 있어서, 어레이 내의 적어도 하나의 센서는 부식성 환경에 노출될 때 부식하도록 구성된 감지 부분을 포함하는 검출 시스템.

청구항 18

제1항에 있어서, 어레이 내의 적어도 하나의 센서는 약 13 μm 내지 약 75 μm 의 두께를 갖는 감지 부분을 포함하는 검출 시스템.

청구항 19

제5항에 있어서, 광 스펙트럼 분석기에 의해 수신된 제1 광 신호는 제1 파장을 가지며 어레이의 제1 센서에 대응하고, 광 스펙트럼 분석기에 의해 수신된 제2 광 신호는 제1 파장과는 상이한 제2 파장을 가지며 어레이의 제2 센서에 대응하는 검출 시스템.

명세서

기술분야

<1> 본 발명은 검출 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

<2> 미국 특허 제6,384,610호, 제6,328,878호, 제6,316,646호, 제5,859,537호, 제6,054,038호, 제6,144,026호, 제4,380,763호, 제4,780,664호, 제4,962,360호, 제5,323,429호, 제5,367,583호, 제6,445,565호, 및 제6,896,779호에 개시되어 있는 것과 같은, 부식을 검출할 수 있는 센서들이 공지되어 있다. 예를 들어, 이들 종래의 시도들 중 일부는 "매설가능한" 부식 센서를 이용하지만, 종래의 기술들은 종종 강성 인쇄 회로 기판 및 강성 금속 웨이퍼 칩을 채용한다. 그러한 기술의 제한으로는 두께 및 취약성을 들 수 있는데, 즉, 얇은 에폭시 또는 페인트 코팅 아래에 강성 회로 기판을 배치하는 것은 코팅의 파괴를 야기할 수 있고, 금속 웨이퍼-기반 센서는 파손되기 쉬우며 고르지 않은 표면에 정합하지 않다.

<3> 발명의 요약

<4> 본 발명의 제1 태양에 따르면, 공학적 구조물을 모니터링하는 검출 시스템은 공학적 구조물 상에 미리 정해진 패턴으로 배치가능하고 공학적 구조물의 표면과 상기 표면을 실질적으로 덮는 보호 코팅 사이에 배치가능한 센서들의 어레이를 포함한다. 검출 시스템은 센서들로부터 데이터를 검색하기 위해 센서들의 어레이와 통신하는 제어기를 또한 포함한다. 제어기는 광섬유 백본을 통해 센서 어레이와 통신한다. 센서들의 어레이는 보호 코팅의 경화도(degree of cure), 경화된 보호 코팅의 건전성(health), 및 센서들 각각에서의 공학적 구조물의 부식 속도(corrosion rate) 중 적어도 하나에 대응하는 데이터를 제공할 수 있다.

<5> 발명의 상기의 개요는 본 발명의 각각의 도시된 실시예 또는 모든 구현예를 설명하고자 하는 것은 아니다. 도면 및 이하의 상세한 설명은 이들 실시예를 보다 구체적으로 예시한다.

발명의 상세한 설명

<14> 본 발명은 검출 시스템에 관한 것이다. 특히, 예시적인 실시예의 검출 시스템은 매설가능하고, 공학적 구조물 상의 코팅된 표면의 몇몇 주요 특성을 검출하는 데 이용될 수 있다. 게다가, 검출 시스템은 하나 이상의 검출기 어레이(array)를 중앙 제어 시스템과 연결시키기 위해 광섬유 백본(backbone) 또는 네트워크를 이용한다. 광섬유 백본은 장거리 접속과, 전자파 방해(EMI) 신호 열화의 실질적인 감소 또는 제거를 제공한다. 검출 시스템은 공학적 구조물의 표면에 적용되는 코팅의 경화 정도를 검출하는 데 이용될 수 있다. 게다가, 검출 시스템은, 예를 들어, 자연적인 요소에 노출될 때 코팅의 열화(예를 들어, 수분 침투)를 검출함으로써, 경화 후의 코팅의 건전성을 검출하는 데 이용될 수 있다. 또한, 검출 시스템은, 예를 들어, 부식을 촉진시키는 물리적 상태를 검출함으로써, 공학적 구조물의 표면의 완전성을 검출하는 데 이용될 수 있다.

<15> 이들 예시적인 구현예에서, 검출 시스템은 데이터 획득 시스템을 통해 공학적 구조물의 하나 이상의 물리적 상태에 관한 데이터를 실시간으로, 주기적으로(예를 들어, 매시간, 매일, 매주) 제공하도록 구성될 수 있다. 이러한 유형의 데이터 획득 시스템은, 현재 사용되는 "예방적" 유지 보수와 반대되는 것으로서, 공학적 구조물에 대한 "상태-기반의" 유지 보수를 제공할 수 있다. 따라서, 예시적인 실시예의 검출 시스템은 공학적 구조물 또는 물체의 수리 또는 교체의 스케줄 작성을 보다 양호하게 관리하도록 실시간 데이터를 제공함으로써 그러한 구조물 또는 물체의 작동 수명을 최대화하는 데 도움을 줄 수 있다. 게다가, 광 백본의 사용은 제어기 시스템이 모니터링되는 공학적 구조물로부터 원거리(예를 들어, 10 km 이상(광섬유 전송 라인의 길이에 의해 측정됨))에 위치될 수 있게 한다.

<16> 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 도 1A는 검출 시스템(100)을 개략도로 도시한다. 검출 시스템(100)은 전송 광섬유(105a)를 통해 센서 어레이(120a)에 연결된 중앙 제어기(150)를 포함한다. 예시적인 실시예에서, 센서 어레이(120a)는 데이터 전송 광섬유(105a/106a)에 결합된 복수의 센서(본 예에서, 간결성을 위해 6개의 센서(130a 내지 130f)로 된 그룹이 도시되어 있음)를 포함한다. 센서 어레이(120a)는 공학적 구조물(110)의 표면(112) 상에 배치되어 있다. 이하에서 더 상세히 설명되는 바와 같이, 본 발명의 실시예들은 상이한 유형의 센서들을 이용할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 캐소드-애노드 구조물을 갖는 부식 센서 구성은 부식을 모니터링하기 위해 임피던스, 전류, 및/또는 전압을 측정할 수 있다. 화학물질 검출기와 같은 다른 유형의 센서들이 또한 이용될 수 있다.

<17> 예시적인 실시예에서, 코팅(140)이 공학적 구조물(110)의 표면(112)에 적용된다. 센서(130a 내지 130f)는 표면(112)과 코팅(140) 사이에 용이하게 배치되도록 초박형 설계(예를 들어, 감지 부분 두께가 약 13 μm 내지 약 75 μm)를 갖도록 구성된다. 이러한 방식으로, 센서들은 코팅(140) 및 공학적 구조물(110)의 건전성에 관한 데이

터를 동시에 제공할 수 있다.

- <18> 공학적 구조물(110)은 물, 비, 바람 등과 같은 자연적인 요소에 노출되는 임의의 유형의 구조물 또는 물체일 수 있다. 구조물(110)의 물리적 조성은 강철과 같은 금속, 탄소 섬유 복합물, 세라믹, 또는 유리 섬유 라미네이트(fiberglass laminate)와 같은 유리 섬유계 재료일 수 있다.
- <19> 예시적인 실시예에서, 검출 시스템(100)은 해양 플랫폼(예를 들어, 보트(boat), 잠수함)에서 밸러스트 탱크(ballast tank) 또는 기타의 물 보유 구조물 내의 코팅 및/또는 구조물의 건전성을 검출하는 데 이용될 수 있다. 이해되는 바와 같이, 밸러스트 탱크는 해양 플랫폼에서 선박의 밸러스트를 제공하는 데 사용된다. 이들 탱크는 계속하여 채워지고/지거나 비워질 수 있으며 또한 부스러기 및 기타 물질들을 수집할 수 있다. 바닷물은 매우 부식성인 물질이므로, 예시적인 검출 시스템(100)에 의해 검출되는 실시간의 주기적인 코팅 및/또는 구조물 건전성 평가는 유지 보수 계획에 관련된 중요한 정보를 제공할 수 있다.
- <20> 대안적인 실시예에 따르면, 검출 시스템(100)은 부식 또는 기타 형태의 물리적 열화에 또한 취약한 터널, 교량, 파이프, 및 항공기와 같은 기타 유형의 공학적 구조물에서 사용될 수 있다. 예를 들어, 물리적 한계로 인해 시각적으로 검사하기 어려운 수중/지하 오일 파이프라인의 길이를 따라 센서들이 분포될 수 있다. 본 발명의 실시예들의 원격 감지 속성은 사용자에게 수 킬로미터 떨어진 곳으로부터 센서들에 질의하는 능력을 제공할 수 있다.
- <21> 구조물(110)을 보호하기 위해, 코팅(140)은 폴리아미드 에폭시(예를 들어, MIL-규격 24441을 충족시키는 에폭시) 및 코팅 에폭시(예를 들어, 미국 미네소타주 세인트 폴 소재의 쓰리엠 컴퍼니(3M Company)로부터 입수 가능한 제품 번호 2216 A/B) 등의 에폭시계 코팅 또는 페인트와 같은 코팅을 포함할 수 있다. 이하에서 추가로 설명되는 바와 같이, 검출 시스템(100)은 코팅(140)의 경화 상태 및/또는 건전성과 같은 특성들을 검출하는 데 사용될 수 있다.
- <22> 예시적인 실시예에 따르면, 중앙 제어기(150)는 모니터링되는 특성의 공학적 구조물(110)로부터 원격 위치될 수 있다. 바람직한 태양에서, 제어기(150)는 광원(152) 및 스펙트럼 분석기(154)에 결합된 데이터 획득 시스템(151)을 포함한다.
- <23> 광원(152)에 의해 생성된 광 신호는 전송 광섬유(105a)를 통해 센서 어레이(120a)로 전달된다. 바람직한 태양에서, 제어기(150)는 광 신호를 전송 및 수신한다. 귀환 광 신호는 광 서큘레이터(optical circulator)(156)를 통해 광 스펙트럼 분석기(154)로 분배될 수 있다. 선택적으로, 제어기(150)에 의해 제어되는 광 스위치(158)는 광 신호를 다른 공학적 구조물들 및/또는 센서 어레이(120c)와 같은 다른 센서 어레이들로 분배하는 데 이용될 수 있다. 전체 시스템의 하나 이상의 센서 어레이와 통신하기 위해 광 신호를 사용하는 것은 장거리 접촉과, 전자파 방해(EMI) 신호 열화의 실질적인 감소 또는 제거를 제공한다.
- <24> 일 태양에서, 데이터 획득 시스템(151)은 광원(152), 광 스펙트럼 분석기(154), 및 (선택적으로) 광 스위치(158)와 통신하는 서버 또는 기타 컴퓨터-기반 장치로서 구성될 수 있다. 데이터 획득 시스템(151)은 데이터 저장 및 디스플레이를 위한 컴퓨터 및 인터페이스 장치를 포함할 수 있다. 또한, 데이터 획득 시스템은 실시간 코팅 상태 데이터와 같은 그래픽 데이터를 사용자에게 제공하기 위해 별도의 디스플레이에 결합될 수 있다. 데이터 획득 시스템(151)이 컴퓨터, 서버, 또는 컴퓨터-기반 장치일 수 있으므로, 데이터 수집, 조작, 분석, 및 전달은 이들에 로딩된 특정 응용 소프트웨어 프로그램을 통해 제공될 수 있다. 이 시스템에 사용되는 모든 센서 또는 센서 그룹에 대해 유사한 데이터 검색, 디코딩 및 저장 프로세스가 이용될 수 있다. 센서가 코팅 또는 구조물의 열화가 발생했음을 나타내는 경우, 사용자에게 정보가 (예를 들어, 청각적 및/또는 시각적 형식으로) 제공될 수 있다. 그렇지 않다면, 데이터가 사용자 요청시에 표시될 수 있다. 데이터 검색 및 분석을 실시간의 주기적 방식으로 활성화하기 위해 자동화된 프로세스가 채용될 수 있다.
- <25> 일 태양에서, 광원(152)은 (비교적) 낮은 스펙트럼 파워 밀도를 갖는 연속 광대역 소스(source)(예를 들어, 램프)를 포함한다. 예를 들어, 약 30 nm의 대역폭(중심 파장이 1550 nm에 있음)에 걸쳐 약 200 mw의 총 광학 파워를 갖는 광 신호를 제공하기 위해 자연 증폭 방출원(amplified spontaneous emission source)과 같은 소스가 사용될 수 있다. 대안적으로, 광원(152)은 각각이 상이한 파장에서 출력을 갖고 다수의 개별 파장 채널(λ_1 내지 λ_n)을 갖는 광 출력 신호를 생성하는 협대역 소스 세트를 포함할 수 있다. 예를 들어, 협대역 소스 세트는 각각이 상이한 출력 파장(λ_1 내지 λ_n)을 갖는 레이저 다이오드들과 같은 다이오드 소스 세트를 포함할 수 있다. 예를 들어, λ_1 내지 λ_n (예를 들어, 1550 nm, 1550.5 nm, 1551 nm, ... 1570 nm)의 상이한 출력 파장을

갖는 다이오드들이 개별적으로 사용될 수 있다. 다른 대안으로서, 광원(152)은 넓은 파장 범위(예를 들어, 레이저 출력이 10-20 μm 범위에 걸쳐 있음)에서 레이저 출력을 생성하는 가변 파장 레이저(tunable laser)를 포함할 수 있다. 다른 대안에서, 광원(152)은 신호 획득의 감도를 증가시키는 데 도움을 주는 변조 광원(modulated light source)일 수 있다. 또 다른 대안에서, 광원(152)은 광대역 및 고정 파장 또는 가변 파장 레이저원들의 조합을 포함할 수 있다.

<26> 다중-파장 광 신호가 광섬유(105a)를 따라 제1 센서 어레이(120a)로 전송된다. 광섬유(105a)는 코닝, 인크.(Corning, Inc.)(미국 뉴욕주 코닝 소재)로부터 입수가 가능한 SMF28™ 광섬유와 같은 종래의 전기 통신 섬유이거나, 통상적인 광학 전기 통신 파장 영역(1300 nm 또는 1550 nm) 외측의 파장 영역에서 동작하는 다른 광섬유일 수 있다. 선택적으로, 광 신호는 또한 스위치(159)를 통해 추가적인 센서 어레이(120b)에 분배될 수 있다.

<27> 도 1A의 실시예에 나타난 바와 같이, 센서 어레이(120a)에서 수신되는 광 신호(λ_1 내지 λ_n 의 파장을 가짐)는 일련의 신호 분배 장치(tap-off device)(161a 내지 161f)를 통해 개개의 센서(130a 내지 130f)에 분배될 수 있다. 바람직한 태양에서, 신호 분배 장치(161a)는 입력 신호의 일부분(예를 들어, 신호의 약 1%)을 센서(130a)에 분배하는 반면 나머지 신호는 어레이의 다른 센서들, 즉 센서(130b 내지 130f)들에 분배하는 파워 탭(power tap)을 포함할 수 있다. 바람직한 태양에서, 장치(161a 내지 161f) 각각은 1×2 섬유-기반 전력 분배기(power splitter) 또는 1×2 광 결합기(optical coupler)를 포함할 수 있다.

<28> 대안적인 실시예에서, 도 1B에 도시된 바와 같이, 센서 어레이(120d)는 복수의 개별 센서(본 예에서, 센서(130a 내지 130i))를 포함할 수 있다. 여기에서, 각각의 개별 센서는 (예를 들어, 광섬유(105a 내지 105i)를 통해) 제어기(150)에 직접 결합되어 있다.

<29> 도 2의 단면도에 도시된 바와 같이, 센서(130a)는 벨러스트 탱크와 같은 구조물(110)의 표면(112) 상에 배치될 수 있다. 센서(130a)는 내습성 2부분 에폭시(2-part epoxy)(예를 들어, 미국 매사추세츠주 베드포드 소재의 트라-콘 코포레이션(Tra-Con Corp.)으로부터 입수가 가능한 트라-콘 2151 접착제)와 같은 접착제, 또는 미국 미네소타주 세인트 폴 소재의 쓰리엠 컴퍼니로부터 입수가 가능한 쓰리엠 VHB와 같은 전사 접착제 또는 양면 테이프를 통해 표면(112)에 고정될 수 있다. 센서(130a)는 광섬유(105a/106a)를 통해 제어기(150)와 통신을 할 수 있다. 코팅(140)은 구조물(110)을 바닷물(160)과 같은 외부 물질 또는 재료의 부식 효과로부터 보호하기 위해 표면(112)에 적용된다. 이하에서 더 상세히 설명하는 바와 같이, 센서(130a)는 코팅(140)이 열화할 때 그리고 구조물(110)이 부식하기 시작할 때 일반적인 코팅 건전성을 나타내는 코팅(140)의 건전성을 검출(예를 들어, 염화물과 같은 화학종의 존재를 검출함으로써 임피던스를 모니터링)할 수 있다.

<30> 도 1A에 도시된 바와 같이, 센서 어레이(120a)는 수개의 개별 센서(130a 내지 130f)를 포함할 수 있다. 물론, 공학적 구조물의 크기 또는 특정 응용에 따라, 센서 어레이(120a)에 더 많은 개수의 센서 또는 더 적은 개수의 센서가 이용될 수 있다. 바람직한 태양에서, 각각의 개별 센서는 동일한 기본 구조를 가질 수 있다. 예를 들어, 도 3A 및 도 3B에 도시된 바와 같이, 센서(130a)는 가요성 폴리이미드 기판(이하에서 더 상세히 설명됨) 상에 형성될 수 있고, 센서 상에 배치된 광전자 인터페이스(optoelectronic interface, (134))를 포함할 수 있다. 대안적으로, 개별 센서들은 상이한 구조를 가질 수 있다.

<31> 일 태양에서, 광전자 인터페이스(134)는 중합체계 물질, 예를 들어, 폴리아미드, 폴리에스테르, 액정 중합체 또는 아크릴 물질과 같은 기재(base) 물질 상에 배치될 수 있다. 이 기재 물질은 광전자 인터페이스(134)에 대한 지지 및/또는 캡 부분(도시되지 않음)과의 기밀 밀봉부의 일부를 제공할 수 있다. 이 기재 물질 및/또는 센서의 다른 부분들은 미국 미네소타주 세인트 폴 소재의 쓰리엠 컴퍼니로부터 입수가 가능한 VHB 접착제와 같은 접착제에 의해 공학적 구조물(110)의 표면에 부착될 수 있다. 구성요소 및 상호접속부를 노출로부터 보호하기 위해 보호 코팅 또는 봉지재(encapsulant, 133)도 제공될 수 있다. 선택적으로, 추가의 보호를 위해, 경질 플라스틱과 같은 패키지 캡 물질이 외부 보호 셸(shell)을 제공할 수 있다. 전체 패키지 두께는 약 100 μm 내지 약 1000 μm 로 유지될 수 있다.

<32> 광전자 인터페이스(134)는 광 신호 디멀티플렉서(demultiplexer, 137)(도 3B 참조)를 포함할 수 있다. 일 태양에서, 디멀티플렉서(137)는 단일의 미리 정의된 채널(예를 들어, λ_1)을 선택하는 박막-기반 채널 선택기를 포함할 수 있다. 더구나, 각각의 센서의 광 신호 디멀티플렉서는 각각의 개별 센서의 파장(λ_n)으로 그 센서를 식별하는 데 사용될 수 있다. 광 신호 디멀티플렉서(137)는 광 신호를 2개의 경로, 예를 들어 도 3B에 도시된 바와 같은 경로(139a, 139b)로 분할하는 데 사용될 수 있다. 일 태양에서, 디멀티플렉서(137)는 신호(λ_1)를 선택하여 이 신호를 경로(139a)를 따라 전송하는 반면, 나머지 신호(λ_2 내지 λ_n)들은 경로(139b)를 따라 전송된

다.

- <33> 센서(130a)는 광 신호의 일부분을 수신하여 전력으로 변환하는 PIN 다이오드 어레이(135)를 추가로 포함할 수 있다. 도 3B에 개략적으로 도시된 바와 같이, 신호(λ_2 내지 λ_n)는 경로(139b)를 따라 PIN 다이오드 어레이(135)로 전송되고, 이 PIN 다이오드 어레이는 광 신호를 수신하여 전력을 생성한다. 이 전력은 전기 변색 스위치(136)를 위한 전원으로 사용될 수 있으며, 이 전기 변색 스위치는 광 신호 디멀티플렉서(137)에 의해 분할된 광 신호의 다른 부분을 수신한다. 이 예시적인 태양에서, 신호(λ_1)는 경로(139a)를 따라 전기 변색 스위치(136)로 전송된다. 이하에서 설명되는 바와 같이, 감지 부분(132)이 전기 변색 스위치(136)의 전원에 결합되므로, 전기 변색 스위치(136)에 대해 이용가능한 전력량은 보호 코팅(140)의 상태에 따를 수 있다.
- <34> 도 3C에 도시된 바와 같이, 전기 변색 스위치(136)는 사이에 전압-감응 물질(136a)이 배치된 2개의 광 투과성 물질(136c, 136d)을 포함한다. 전압 감응 물질(136a)은, 예를 들어 삼산화텅스텐을 포함할 수 있다. 전압 감응 물질과 층(136f)(바람직하게는, 오산화바나듐 층) 사이에 전해질(136e)이 배치된다. 전해질 층(136e)은 인가 전압(V)에 대한 전하 전달 메커니즘을 제공하며, 이때 오산화바나듐 층(136f)은 전기 변색 스위치의 온/오프 동안에 콘트라스트 비(contrast ratio)를 향상시킬 수 있다. 또한, 투과성 물질(136d)과 같은 투과성 물질들 중 적어도 하나가 고반사성 코팅(136b)으로 코팅될 수 있다. 전기 변색 스위치(136)의 동작이 이하에서 더 상세히 설명된다.
- <35> 다른 태양에서, 도 3C에 도시된 구조물(136)의 대안으로서 마이크로 전기 변색 스위치가 광전자 인터페이스(134)에 이용될 수 있다. 특히, 도 6A 및 도 6B는 섬유 기반 전기 변색 스위치(200) 및 그의 구성요소들을 제조하는 방법을 나타낸 것이다. 도시된 바와 같이, 스위치(200)는 도 3B에 도시된 경로(139a)를 구성하는 광섬유와 같은 광섬유(210)의 종단부(terminal end)에 형성된 매우 콤팩트한 구조물일 수 있다.
- <36> 도 6A 및 도 6B를 참조하면, 단계(301)에서, 마이크로 전기 변색 스위치(200)를 제조하는 데 사용될 광섬유의 부분이 준비된다. 종단부(215)를 생성하기 위해 광섬유를 절단함으로써 광섬유(210)가 준비될 수 있다. 광섬유(210)의 종단부는 95% 황산 용액과 같은 농축된 산 용액을 사용하여 그의 보호 중합체 코팅(212)이 제거될 수 있다. 광섬유 제거 속도는 온도에 따라 변할 수 있으며 바람직하게는 150℃에서 약 60초이다. 제2 광섬유(220)가 또한 이용되며, 그의 종단부(225a)가 또한 유사한 방식으로 준비된다.
- <37> 단계(302)에서, 산화인듐주석(indium tin oxide, ITO) 층(230, 232)이 광섬유(210) 및 광섬유(220)의 측면 및 종단부(215, 225a) 상에 각각 증착될 수 있다. 예시적인 실시예에서, ITO 층은 표준 진공 스퍼터링 기술을 사용하여 증착된다. ITO 층의 두께는 약 100 nm 내지 약 200 nm일 수 있다.
- <38> 단계(303)에서, 전기 접점(235, 237)이 형성된다. PIN 다이오드 어레이(135)에 의해 공급되는 전압원은 접점(235, 237)을 통해 전기 변색 스위치(200)에 연결될 수 있다. 이 접점은 진공 증착 공정, 전기 도금 공정, 무전해 도금 공정, 또는 이들의 조합을 사용하여 적어도 하나의 전도층을 침착시킴으로써 형성될 수 있다. 예시적인 실시예에서, 전도층은 금, 구리, 니켈 및/또는 은으로부터 선택된 금속층을 포함한다. 전도층은 무전해 금속화 방법, 예를 들어 본 명세서에 전체적으로 참고로 포함된 미국 특허 제6,355,301호에 기술된 방법을 사용하여 침착될 수 있다.
- <39> 예시적인 일 실시예에서, 니켈 층 밴드가 ITO 유리 층과 중첩하도록 광섬유 표면(217, 227) 상으로 무전해 도금된다. 니켈층은 약 0.1 μm 내지 약 0.2 μm 의 두께를 가질 수 있다. 이 니켈층 상부에, 약 1 μm 두께를 갖는 니켈 밴드를 제공하기 위해 추가 두께의 니켈이 전해 도금될 수 있다. 또한, 접점 구조물을 완성하기 위해 니켈 밴드의 상부에 약 0.1 μm 의 두께로 금 층이 전기 도금될 수 있다.
- <40> 단계(304)에서, 진공 스퍼터링 증착 방법 또는 딥 코팅(dip coating) 방법과 같은 종래의 방법에 의해 산화텅스텐(WO_3) 물질(240)이 광섬유(210)의 종단부 상의 ITO 층(230) 상으로 적용될 수 있다. 딥 코팅을 사용할 때, WO_3 의 수용액이 사용될 수 있다. 적어도 약 100 nm의 두께를 갖는 산화텅스텐 층을 생성하기 위해, 광섬유(210)의 팁(tip)이 수용액 내에 두어졌다가 꺼내어져 (예를 들어, 170℃에서 20분 동안) 건조될 수 있다. 산화텅스텐 층의 두께는, 예를 들어 산화텅스텐 용액의 농도를 변경함으로써 또는 수용액을 여러 번 적용함으로써, 원하는 전기 변색 스위치 콘트라스트 비에 따라 변화될 수 있다.
- <41> 단계(305)에서, 진공 스퍼터링 증착 방법 또는 딥 코팅 방법과 같은 종래의 방법에 의해 산화바나듐(V_2O_5) 물질(245)이 광섬유(220)의 종단부 상의 ITO 층(232) 상에 적용될 수 있다. 딥 코팅을 사용할 때, V_2O_5 의 수용액이

사용될 수 있다. 적어도 약 100 nm의 두께를 갖는 산화바나듐 층을 생성하기 위해, 광섬유(220)의 팁이 수용액 내에 두어졌다가 꺼내어져 (예를 들어, 170℃에서 20분 동안) 건조될 수 있다. 산화바나듐 층의 두께는, 예를 들어 산화바나듐 용액의 농도를 변경함으로써 또는 수용액을 여러 번 적용함으로써, 원하는 전기 변색 스위치 콘트라스트 비에 따라 변화될 수 있다.

<42> 단계(306)에서, 광섬유(220)의 작은 부분만이 이용되도록 광섬유(220)가 절단될 수 있다. 게다가, 반사 코팅 또는 미러(mirror, 250)가 광섬유 세그먼트(220)의 제2 종단부(225b) 상에 코팅될 수 있다. 일 태양에서, 미러(250)는 금속화에 의해 형성될 수 있다. 적어도 하나의 반사 층을 침착시키기 위해 진공 증착 방법, 전기 도금 방법, 무전해 도금 방법, 딥 코팅 또는 이들의 조합과 같은 종래의 방법을 사용하여 미러(350)가 형성될 수 있다. 반사 층은 은, 알루미늄, 또는 교번하는 굴절률을 갖는 일련의 코팅 층을 포함할 수 있다. 예시적인 실시예에서, 미러는 적어도 약 150 nm의 두께를 가질 수 있다.

<43> 단계(307)에서, 중합체 전해질(260)이 광섬유(210) 상의 WO₃ 층(240)과 광섬유 세그먼트(220) 상의 V₂O₅ 층(245) 사이에 배치될 수 있다. 중합체 전해질은 바람직하게는 리튬 트라이플루오로메탄설포네이미드 전해질과 같은, 리튬을 함유하는 UV-경화성 중합체 전해질을 포함한다. 전해질은 광섬유(210) 상에 코팅된 WO₃을 중합체 전해질의 미경화된 수용액 내에 침지시킴으로써 적용될 수 있다. 이어서, V₂O₅ 코팅된 광섬유 세그먼트(220)가 전해질과 접촉될 수 있다.

<44> 단계(308)에서, 이 조립체는 전기 변색 스위치를 보호하기 위해 유리 페룰(ferrule)과 같은 UV-투과성 페룰 내에 삽입될 수 있다. 페룰은 페룰의 양단부에서 접착제에 의해 광섬유(210) 및 광섬유 세그먼트(220)에 접합될 수 있다.

<45> 단계(308)에서, 패키징화된 조립체는 UV 광에 노출되어 중합체 전해질을 경화시킬 수 있다. 경화된 중합체 전해질 층의 두께는 약 1 μm 내지 약 100 μm일 수 있다.

<46> 전기 와이어가 금속화된 전기 접점에 납땜되어 전기 변색 스위치를 PIN 다이오드 어레이에 접속시킬 수 있다. 예시적인 실시예에서, 표준 납-주석 또는 은 납땜 방법이 사용될 수 있다.

<47> 센서(130a)는 센서 부분(132)을 또한 포함한다. 바람직한 태양에서, 어레이 감지 부분(132)은, 전기 화학/부식 측정을 위한 애노드(anode) 및 캐소드(cathode)로서 사용될 수 있고 가요성 폴리이미드 기판 상에 형성될 수 있는, 상호맞물림형(interdigitated) 금속-기판(예를 들어, 금, 은, 구리) 회로를 갖는 전극 구조물을 포함할 수 있다. 게다가, 센서(130a)의 일부분이 그 자신의 보호 오버코트(overcoat, 133)로 코팅될 수 있다(예를 들어, 센서의 전기/광학 변환 부분은 덮지만 감지 부분(132)은 구조물(110) 및 코팅(140)에 노출된 채로 됨).

<48> 예시적인 실시예에서, 감지 부분(132)은 미국 미네소타주 세인트 폴 소재의 쓰리엠 컴퍼니로부터 상표명 쓰리엠™ 플렉스(Flex)로 입수가 가능한 쓰리엠의 가요성 회로 재료와 같은 얇은 가요성 기판 재료 상에 형성된다. 그러한 가요성 회로를 제조하는 예시적인 물품 및 공정은 전체적으로 참고로 포함된 미국 특허 제6,320,137호에 기술되어 있다. "가요성"이란, 감지 부분이 탈층되지 않도록 센서 및 (적용가능한 경우) 기판이 굴곡될 수 있음을 의미한다(예를 들어, 감지 부분은 그의 전도성 품질을 잃어버림이 없이 매우 작은 곡률 반경으로의 90도(또는 그 이상) 굴곡을 겪거나 심지어 급격히 꺾인 직각 또는 주름잡힘을 겪을 수 있다).

<49> 예를 들어, 감지 부분(132)은 폴리이미드 재료와 같은 기판을 포함할 수 있다. 센서 전극 구조물은 예를 들어 크롬 타이 층(tie layer), 구리(또는 기타 전도) 층이 기판 상에 배치되고, 은(또는 금 또는 기타 금속) 층이 구리 층 상에 배치된 기판 상의 패터닝된 다층 재료로서 형성될 수 있다. 본 설명을 고려하면 명백해지는 바와 같이, 기타의 다층 구조물이 이용될 수 있다. 따라서, 예시적인 캐소드-애노드 구조물을 갖는 감지 부분(132)은, 이전에는 모니터링하기 어려웠던 위치에서, 캐소드와 애노드 사이의 전압 강하, 캐소드와 애노드 사이의 전류 수준, 및/또는 캐소드와 애노드 사이의 임피던스를 측정하는 능력을 제공할 수 있다.

<50> 대안적인 실시예에서, 감지 부분(132)은 물에 민감한 화학종, 예를 들어 Al, Fe 또는 Zn으로 형성된 전극으로서 구성될 수 있다. 화학종이 물과 상호작용할 때, 측정된 임피던스 또는 저항에 변화가 있을 것이다. 본 설명을 고려하면 당업자에게 명백해지는 바와 같이, 기타의 부식 민감성 화학종이 또한 이용될 수 있다.

<51> 동작시, 일 태양에서, 전기 변색 스위치(136)는 PIN 다이오드(135)의 출력에 의해 전력을 공급받는다. 도 3B의 개략도에 도시된 바와 같이, 바람직하게는 가요성 폴리이미드 기판 상에 형성된 상호맞물림형 금속-기판 회로를 갖는 전극 구조물의 물리적 구조체를 갖는 감지 부분(132)은 전기 변색 스위치(136)에 전기 결합된 저항기로서 나타내어진다.

- <52> 예를 들어, 초기의 스테이지(stage)들에서, 코팅(140)의 품질은 양호하다. 따라서, 감지 부분(132)으로 인한 저항/임피던스가 높다. 그 결과, 전기 변색 스위치(136)를 가로지른 전압(V)이 높다(예를 들어, 3V). 전기 변색 스위치(136)를 가로지른 전압(V)이 높은 경우, 전압 감응 물질(136a)이 입력 신호(λ_1)를 흡수하여, λ_1 신호가 제어기(150)로 다시 반사되지 않게 된다. 나중의 스테이지들에서, 부식성 원소들에 대한 노출 후에, 코팅(140)의 품질이 열화한다. 따라서, 감지 부분(132)으로 인한 저항/임피던스가 감소된다. 그 결과, 전기 변색 스위치(136)를 가로지른 전압(V)이 감소된다. 전기 변색 스위치(136)를 가로지른 전압(V)이 더 낮은 경우, 전압 감응 물질(136a)은 더 많은 입력 신호(λ_1)를 전송하기 시작하여, 일부 λ_1 신호가 코팅(136d)에서 반사되고 제어기(150)로 다시 보내지게 된다. 코팅 상태가 악화됨에 따라, 더 많은 λ_1 신호가 제어기(150)로 다시 반사된다. 따라서, 조작자는 원격 위치에서 코팅(140)의 상대적 건전성을 판단할 수 있다. 본 설명을 고려하면 당업자에게 명백해지는 바와 같이, 이러한 동작의 다른 변형들이 또한 이용될 수 있다.
- <53> 바람직한 태양에서, 공학적 구조물의 다른 위치들에서의 코팅 건전성에 대응하여 다른 센서 위치(130b 내지 130n)들에서의 다른 신호(λ_2 내지 λ_n)들이 생성된다. 따라서, 광 스펙트럼 분석기(154)와 같은 분광계 장치(spectrometer device)가 반사된 광 신호를 분석하는 데 사용될 수 있다. 도 4는 예시적인 스펙트럼 분석기(154)로부터의 예시적인 디스플레이 출력을 도시하는데, 여기서 특정 파장(예를 들어, λ_1 내지 λ_n)에서의 신호 강도는 조작자에게 공학적 구조물의 여러 위치들에서의 대응하는 코팅 상태를 제공할 수 있다. 더구나, 광섬유 백본의 사용은 장거리 접속(예를 들어, 10 km 이상) 및 전자파 방해(EMI) 신호 열화의 실질적인 감소 또는 제거를 제공한다.
- <54> 이상의 설계들을 사용하여, 본 명세서에 기술된 검출 시스템의 예시적인 실시예들은 비파괴 언더코팅 센서(non-disruptive, undercoating sensor)를 제공할 수 있다. 게다가, 센서는 사용자가 평탄하지 않은 표면과 같은 공학적 구조물의 곤란한 영역들에(예를 들어, 굴곡부 및 모서리와 기타의 급격히 각진 위치들 부근에) 센서들을 배치할 수 있게 하는 구부릴 수 있는 가요성 기관 상에 구성될 수 있다. 이들 위치는 부식 또는 다른 유형의 열화 상황들에 더 취약할 수 있는데, 그 이유는 모서리 및 기타의 급격하게 각진 위치들에서 보호 코팅이 균일하게 적용될 수 없기 때문이다. 예를 들어, 도 5A 및 도 5B에 도시된 바와 같이, 예시적인 센서(130a)는 단일 모서리 표면(111)(도 5A) 또는 I-빔의 에지 주변에 존재할 수 있는 바와 같은 다중 모서리 표면(113)(도 5B) 상에 배치될 수 있다.
- <55> 따라서, 이상의 예시적인 실시예들에 따르면, 수분 침투, 염화물 및 기타의 음이온성 화학종과 같은 화학종의 침투, 코팅 경화, 코팅 건전성, 및 구조적 건전성을 검출하기 위해 매설가능한 부식 센서가 제공될 수 있다. 그러한 센서가 가요성 기관 상에 형성될 수 있으므로, 더 많은 특정 위치 실시간 측정치가 사용자에게 제공될 수 있다. 또한, 그러한 얇은 회로(예를 들어, 0.025 mm (~0.001 인치) 두께)가 코팅 상태에 악영향을 미치지 없이 보호 코팅과 구조물 사이에 배치될 수 있다. 또한, 데이터 획득 시스템은 부식-관련 상황의 실시간 측정치를 제공할 수 있다. 그러한 부식 센서는 부식 관련 손상의 직접 및 간접 비용을 줄이는 데 도움이 될 수 있다.
- <56> 본 명세서의 개관시 본 발명이 적용될 수 있는 다양한 변형, 동등한 방법뿐만 아니라, 다수의 구조물은 본 발명과 관계된 분야의 숙련자에게 쉽게 명확해질 것이다.

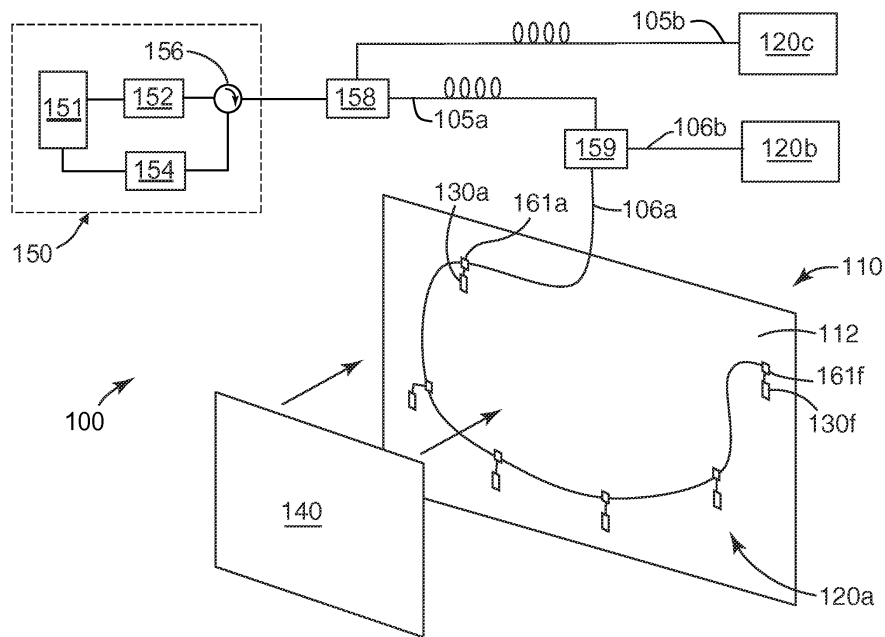
도면의 간단한 설명

- <6> 첨부 도면을 참조하여 본 발명이 추가로 설명할 것이다.
- <7> 도 1A는 본 발명의 실시예에 따른 예시적인 검출 시스템을 도시한 도면. 도 1B는 본 발명의 대안적인 실시예에 따른 예시적인 검출 시스템을 도시한 도면.
- <8> 도 2는 본 발명의 예시적인 실시예에 따른, 코팅과 공학적 구조물(engineered structure) 사이에 매설된 센서의 단면도.
- <9> 도 3A는 본 발명의 실시예에 따른 예시적인 센서를 도시하는 도면. 도 3B는 본 발명의 다른 대안적인 실시예에 따른 예시적인 센서의 일부분의 개략도. 도 3C는 도 3B의 전기 변색 스위치(electro-chromic switch)의 개략도.
- <10> 도 4는 예시적인 스펙트럼 분석기로부터의 예시적인 디스플레이 출력을 도시하는 도면.

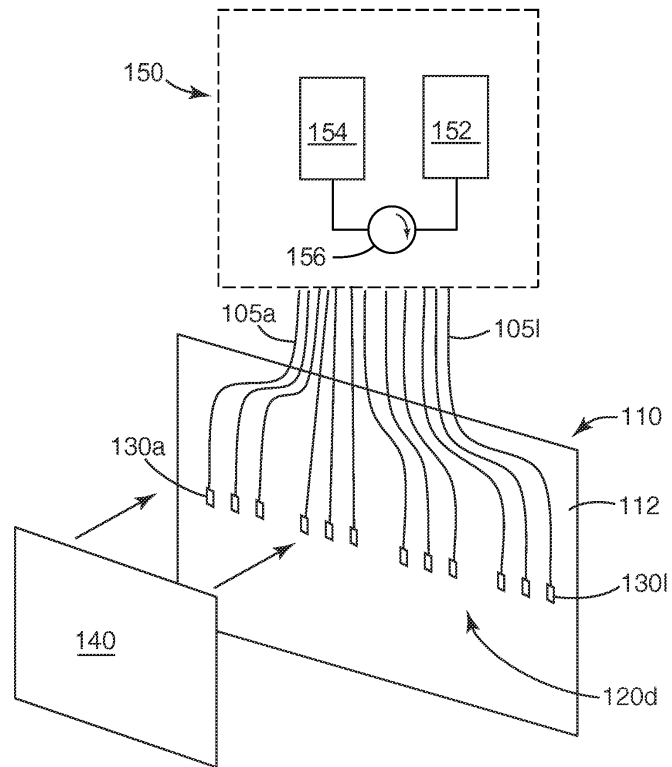
- <11> 도 5A 및 도 5B는 평탄하지 않은 표면 상에 배치된 예시적인 센서의 대안적인 구현예를 도시하는 도면.
- <12> 도 6A 및 도 6B는 본 발명의 센서 시스템에서 사용하는 대안적인 전기 변색 스위치 조립체를 제조하는 방법을 도시하는 도면.
- <13> 본 발명은 다양한 변형 및 대안적인 형태로 용이하게 개조될 수 있으며, 그의 구체예가 도면에 예로서 예시되었고, 더욱 상세히 설명될 것이다. 그러나, 본 발명을 설명되는 특정 실시예에 한정시키고자 하는 것은 아님을 이해하여야 한다. 반면에, 첨부된 청구의 범위에 의해 한정된 바와 같은 본 발명의 범주 내에 속하는 모든 변형, 등가물, 및 대안을 포함하고자 한다.

도면

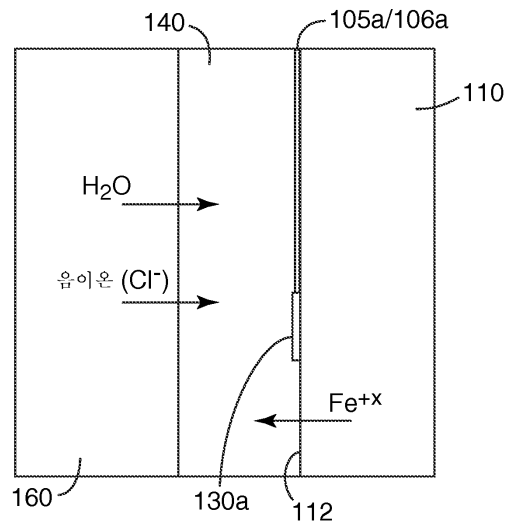
도면1A



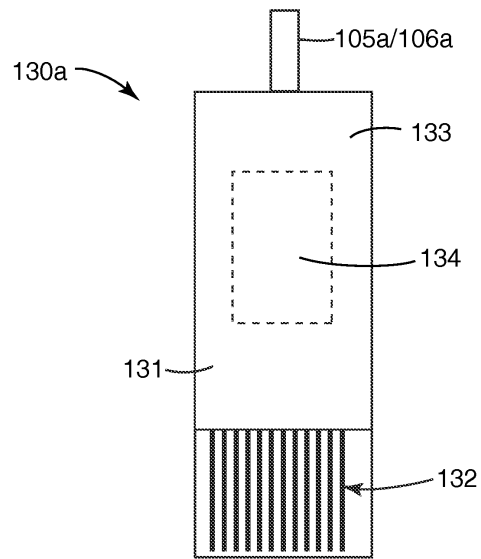
도면1B



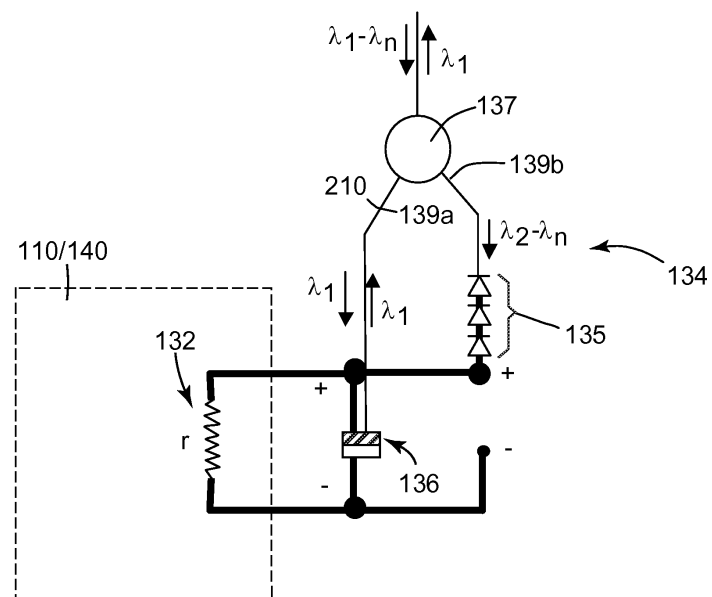
도면2



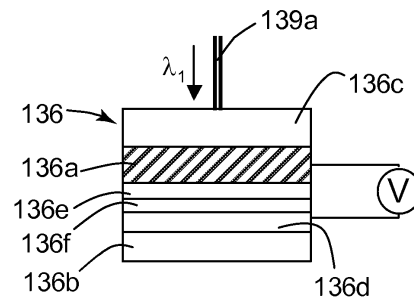
도면3A



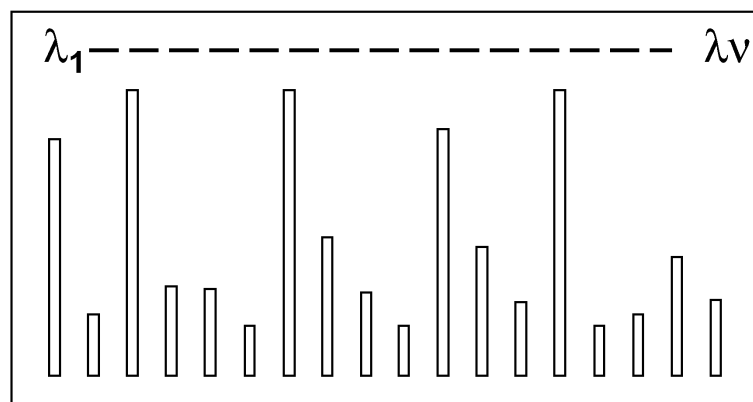
도면3B



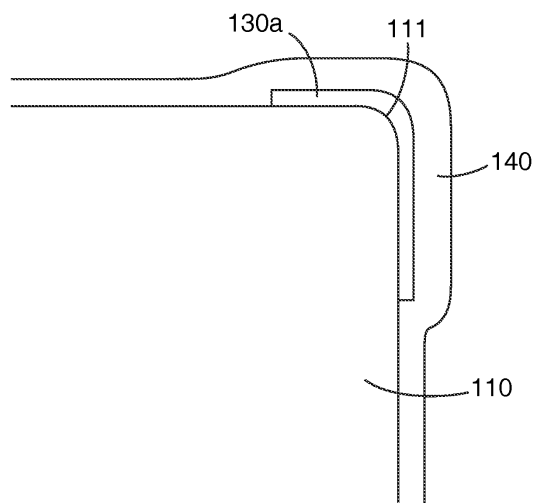
도면3C



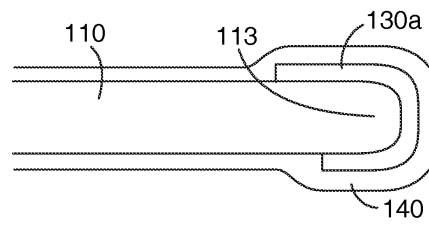
도면4



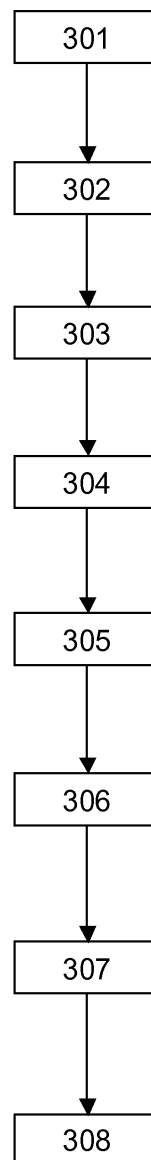
도면5A



도면5B



도면6A



도면6B

