



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년09월07일  
(11) 등록번호 10-1062808  
(24) 등록일자 2011년08월31일

(51) Int. Cl.

H01L 39/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-7003954

(22) 출원일자(국제출원일자) 2006년07월28일

심사청구일자 2009년05월15일

(85) 번역문제출일자 2008년02월19일

(65) 공개번호 10-2008-0066655

(43) 공개일자 2008년07월16일

(86) 국제출원번호 PCT/US2006/029748

(87) 국제공개번호 WO 2007/016492

국제공개일자 2007년02월08일

(30) 우선권주장

11/193,262 2005년07월29일 미국(US)

(56) 선행기술조사문현

US05057489 A1\*

US05318952 A1\*

US06828507 B1\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

아메리칸 수퍼컨덕터 코포레이션

미국 메사추세츠주 01434 디벤스 젤슨 로드 64

(72) 발명자

팀, 코넬리스 레오 한스

미국 메사추세츠주 01581 웨스트보로 웨스트 스트리트 36

말로제모프, 알렉시스 피

미국 메사추세츠주 02421 렉싱턴 월넛 스트리트 37

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김진희, 강승옥

전체 청구항 수 : 총 37 항

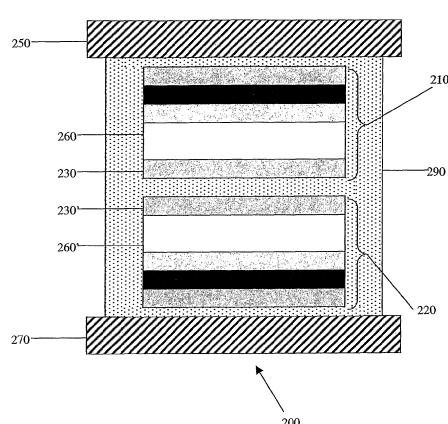
심사관 : 김주승

(54) 고온 초전도체 와이어를 위한 아키텍처

### (57) 요 약

본 발명은 제 1 기판을 덮는 제 1 고온 초전도체 층을 포함하는 제 1 초전도체 인서트 및 제 2 기판을 덮는 제 2 고온 초전도체 층을 포함하는 제 2 초전도체 인서트를 가지는 초전도체 와이어 어셈블리를 포함하는 적층 초전도체 와이어에 관한 것이다. 상기 제 1 및 제 2 초전도체 인서트는 그들 각각의 기판에서 함께 결합되어 있다. 전기 전도성 구조물은 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸고 있다.

**대 표 도** - 도2A



(72) 발명자

**러퍼치, 마틴 더블유**

미국 메사추세츠주 01701 프레밍햄 파멘터 로드 33

**솝, 우르스-데틀레프**

미국 메사추세츠주 01581 웨스트보로 웨스트 엔드  
애버뉴 3

---

**톰슨, 엘리오트 디**

미국 로드아일랜드주 02816 코벤트리 래트번 스트  
리트 157

**베레벨리이, 테런**

미국 메사추세츠주 01540 옥스포드 원 매노어 레인

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

제1 이축 집합조직화 기판(biaxially textured substrate)을 덮는 제1 고온 초전도체(HTS) 층 및 상기 제1 초전도체 층을 덮으며 전기적으로 접촉하는 제1 전기 전도성 캡층을 포함하는 제1 초전도체 인서트, 및

제2 이축 집합조직화 기판을 덮는 제2 고온 초전도체 층 및 상기 제2 고온 초전도체 층을 덮으며 전기적으로 접촉하는 제2 전기 전도성 캡 층을 포함하는 제2 초전도체 인서트

를 포함하며, 상기 제1 및 제2 초전도체 인서트가 그들 각각의 이축 집합조직화 기판에서 함께 결합되어 있고, 일정 길이 및 일정 폭을 가진 초전도체 와이어 어셈블리; 및

상기 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸는 전기 전도성 구조물

을 포함하는 적층 초전도체 와이어로서, 상기 전기 전도성 구조물은 상기 전기 전도성 캡층 각각과 전기적으로 접촉하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 초전도체 층이 희토류-알칼리 토류-산화구리를 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 제1 초전도체 층과 상기 제1 기판 사이에 삽입된 제 1 완충층 및 상기 제2 초전도체 층과 상기 제2 기판 사이에 삽입된 제2 완충층을 더 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 4

제1항에 있어서, 결합 물질이 상기 제1 기판과 상기 제2 기판을 함께 결합시키는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 5

제4항에 있어서, 상기 결합 물질이 전기 전도성 물질 및 전기 비전도성 물질로 구성된 군으로부터 선택된 물질을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 6

제4항에 있어서, 상기 제1 이축 집합조직화 기판과 상기 제2 이축 집합조직화 기판이 상기 이축 집합조직화 기판들 사이에 전기적 접촉을 제공하도록 처리된 표면을 가진 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 7

제4항에 있어서, 상기 결합 물질이 적어도 하나의 전도성 물질의 층 및 적어도 하나의 비전도성 물질의 층을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 8

제4항에 있어서, 상기 제1 이축 집합조직화 기판은 제1 HTS 층이 덮는 이축 집합조직화 기판의 반대 표면에 배치되는 제1 습윤층을 가지며, 상기 제2 이축 집합조직화 기판은 제2 HTS 층이 덮는 이축 집합조직화 기판의 반대 표면에 배치되는 제2 습윤층을 가지며, 상기 제1 습윤층 및 제2 습윤층은 제1 및 제2 이축 집합조직화 기판에 함께 결합되는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 9

제4항에 있어서, 상기 전기 전도성 구조물이,

상기 초전도체 와이어 어셈블리가 사이에 삽입되고 상기 초전도체 와이어 어셈블리와 전기적으로 접촉하고 있는 제1 전도성 스트립 및 제2 전도성 스트립; 및

상기 초전도체 와이어 어셈블리의 길이를 따라 상기 제1 및 제2 전도성 스트립 사이에 연장되는 실질적으로 비

다공성인 전기 전도성 충진제

를 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 10

제9항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전도성 스트립이 알루미늄, 구리, 은, 니켈, 철, 스테인리스 스틸, 알루미늄 합금, 구리 합금, 은 합금, 니켈 합금 및 철 합금으로 구성된 군으로부터 독립적으로 선택된 금속을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 11

제9항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전도성 스트립의 폭이 상기 초전도체 와이어 어셈블리의 폭보다 큰 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 12

제11항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전도성 스트립의 폭이 상기 초전도체 와이어 어셈블리의 폭보다 0.01 내지 2 mm 큰 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 13

제9항에 있어서, 상기 제1 및 제2 전도성 스트립의 두께가 0.01 내지 2 mm인 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 14

제9항에 있어서, 상기 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제가 상기 초전도체 와이어 어셈블리의 측면을 따라 0.005 내지 1 mm의 두께를 가진 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 15

제9항에 있어서, 상기 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제가 솔더, 금속, 금속 합금, 금속 아밀감 및 전도성 고분자로 구성된 군으로부터 선택된 물질을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 16

제9항에 있어서, 상기 결합 물질이 상기 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제를 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 17

제9항에 있어서, 상기 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸는 전도성 물질의 층을 더 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 18

제17항에 있어서, 상기 전도성 물질의 층이 금속, 전기 전도성 고분자, 미세금속 분말로 충진된 고분자 및 전도성 접착제로 구성된 군으로부터 선택되는 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 19

제9항에 있어서, 상기 전기 전도성 구조물이,

적어도 세 측면을 따라 상기 초전도체 와이어 어셈블리를 부분적으로 에워싸며 그와 전기적으로 접촉하고 있는 전기 전도층; 및

상기 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸며 상기 초전도체 와이어 어셈블리를 전도층에 결합시키는 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제

를 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

#### 청구항 20

제19항에 있어서, 상기 전기 전도층이 알루미늄, 구리, 은, 니켈, 철, 스테인리스 스틸, 알루미늄 합금, 구리 합금, 은 합금, 니켈 합금 및 철 합금으로 구성된 군으로부터 선택된 금속을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 21

제19항에 있어서, 상기 전기 전도층의 두께가 0.0001 내지 1 mm인 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 22

제19항에 있어서, 상기 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제가 상기 초전도체 와이어 어셈블리와 상기 전도층 사이, 및 상기 초전도체 와이어 어셈블리내 존재하는 공극을 실질적으로 충진하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 23

제19항에 있어서, 상기 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제가 솔더, 금속, 금속 합금, 금속 아밀감 및 전도성 고분자로 구성된 군으로부터 선택된 물질을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 24

제19항에 있어서, 상기 전도성 물질의 층이 금속, 전기 전도성 고분자, 미세 금속 분말로 충진된 고분자 및 전도성 접착제로 구성된 군으로부터 선택되는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 25

제9항에 있어서, 상기 전기 전도성 구조물이 상기 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸며 상기 초전도체 와이어 어셈블리와 전기적으로 접촉하고 있는 전기 전도성 물질을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 26

제25항에 있어서, 상기 전기 전도성 물질이 전기 전도성 고분자, 미세 금속 분말로 충진된 고분자 및 전도성 접착제로 구성된 군으로부터 선택된 물질을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 27

제25항에 있어서, 상기 전기 전도성 물질이 상기 초전도체 와이어 어셈블리를 감싸는 전도성 호일(foil)을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 28

제27항에 있어서, 상기 전도성 호일이 알루미늄, 구리, 은, 니켈, 철, 스테인리스 스틸, 알루미늄 합금, 구리 합금, 은 합금, 니켈 합금 및 철 합금으로 구성된 군으로부터 선택된 금속을 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 29

제28항에 있어서, 상기 전도성 호일을 실질적으로 에워싸는 실질적으로 비다공성 물질의 층을 적어도 하나 더 포함하는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 30

제29항에 있어서, 상기 실질적으로 비다공성인 물질이 솔더, 전기 전도성 고분자, 미세 금속 분말로 충진된 고분자, 전도성 접착제 및 전기 비전도성 고분자로 구성된 군으로부터 선택되는 것인 적층 초전도체 와이어.

### 청구항 31

제1 이축 집합조직화 기판을 덮는 제1 고온 초전도체 층 및 상기 제1 초전도체 층을 덮으며 전기적으로 접촉하는 제1 전기 전도성 캡층을 갖는 제1 초전도체 인서트, 및

제2 이축 집합조직화 기판을 덮는 제2 고온 초전도체 층 및 상기 제2 초전도체 층을 덮으며 전기적으로 접촉하

는 제2 전기 전도성 캡층을 갖는 제2 초전도체 인서트

를 포함하며, 상기 제1 및 제2 초전도체 인서트가 그들 각각의 이축 집합조직화 기판에서 적층되어 함께 결합되고 있고, 일정 길이 및 일정 폭을 가진 초전도체 와이어 어셈블리를 제공하는 단계;

동시에

상기 제1 및 제2 고온 초전도체 층을 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진체와 함께 상응하는 제1 및 제2 전도성 스트립에 적층하는 단계; 및

상기 제1 및 제2 전도성 스트립 및 충진체가 함께 상기 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸는 전기 전도성 구조를 형성하도록, 상기 초전도체 와이어 어셈블리의 길이를 따라 상기 제1 및 제2 전도성 스트립 사이에 추가의 충진체를 중착하는 단계

를 포함하는, 적층 초전도체 와이어를 제조하는 방법으로서, 상기 전기 전도성 구조물은 상기 전기 전도성 캡층 각각과 전기적으로 접촉하는 것인 적층 초전도체 와이어를 제조하는 방법.

### **청구항 32**

제31항에 있어서, 상기 제1 기판과 상기 제2 기판 사이에 결합 물질을 제공하는 단계를 더 포함하는 적층 초전도체 와이어를 제조하는 방법.

### **청구항 33**

제32항에 있어서, 상기 고온 초전도체 층에 반대되는, 상응하는 제1 기판 표면 위에 제1 습윤층 및 제2 기판 표면 위에 제2 습윤층을 제공하는 단계를 더 포함하는 적층 초전도체 와이어를 제조하는 방법.

### **청구항 34**

제31항에 있어서, 상기 제1 초전도체 층과 상기 제1 기판 사이에 삽입되는 제1 완충층, 및 상기 제2 초전도체 층과 상기 제2 기판 사이에 삽입되는 제2 완충층을 제공하는 단계를 더 포함하는 적층 초전도체 와이어를 제조하는 방법.

### **청구항 35**

제34항에 있어서, 상기 제1 초전도체 층과 상기 제1 전도성 스트립 사이에 삽입되는 제1 전기 전도성 캡층, 및 상기 제2 초전도체 층과 상기 제2 전도성 스트립 사이에 삽입되는 제2 전기 전도성 캡층을 제공하는 단계를 더 포함하는 적층 초전도체 와이어를 제조하는 방법.

### **청구항 36**

제1 이축 집합조직화 기판; 상기 제1 이축 집합조직화 기판을 덮는 제1 고온초전도체 층; 및 상기 제1 고온 초전도체 층을 덮는 캡층을 포함하는 제1 초전도체 인서트; 및

제2 이축 집합조직화 기판; 상기 제2 이축 집합조직화 기판을 덮는 제2 고온 초전도체 층; 및 상기 제2 고온 초전도체 층을 덮는 캡층을 포함하는 제2 초전도체 인서트

를 포함하며, 상기 제1 및 제2 초전도체 인서트가 그들 각각의 기판에서 적층되어 함께 결합되어 있는 초전도체 와이어 어셈블리.

### **청구항 37**

제36항에 있어서, 제1 초전도체 층과 제1 기판 사이에 삽입된 제1 완충층, 및 제2 초전도체 층과 제2 기판 사이에 삽입된 제2 완충층을 더 포함하는 것인 초전도체 와이어 어셈블리.

### **청구항 38**

삭제

### **청구항 39**

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

## 명세서

### 기술분야

[0001] 관련출원

[0002] 본 출원은 "고온 초전도성 와이어 및 코일(High Temperature Superconductive Wire and Coils)"이라는 발명의 명칭으로 2005년 7월 29일 출원된 미국 특허출원 제60/703,815호; "성능이 개선된 초전도체 후막(Thick Superconductor Films With Improved Performance)"이라는 발명의 명칭으로 2005년 7월 29일 출원된 미국 특허출원 제60/703,836호; 및 "성능이 개선된 초전도체 후막(Thick Superconductor Films With Improved Performance)"이라는 발명의 명칭으로 2004년 10월 1일 출원된 미국 특허출원 제60/615,289호와 관련된 것으로, 상기 출원들의 전체 내용은 본원에 참고로 인용된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 발명은 고온 초전도체 분야에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 제 2 세대 고온 초전도체 와이어(wire) 및 테이프(tape)라고도 불리는 코티드 컨덕터(coated conductor)에 관한 것이다.

## 배경기술

[0005] 고온 초전도체(HTS, high temperature superconductor) 재료는 극히 낮은 손실량으로 극히 많은 양의 전류를 운반하기 위한 수단을 제공한다. HTS 재료는 임계 온도 이하로 냉각된 경우 직류 전류의 흐름에 대해서는 저항

력 모두를 잃으며 교류 전류의 흐름에 대해서는 저항력 거의 모두를 잃는다. 이러한 재료를 사용하는 HTS 와이어("와이어"란 표현은 본원에서 테이프와 같은 전도체를 비롯한 다양한 전도체에 사용된다)의 발달은 차세대의 고효율, 소형 및 환경친화적인 전기 장치를 제공할 수 있을 것이며, 이는 전력망(electric power grid), 수송수단, 재료 가공 및 다른 산업에 혁명을 일으킬 가능성이 있다. 그러나, 상업적으로 실용적인 제품은 상업적 적용에 있어서 기술의 구현을 복잡하게 하는 엄격한 공학적 요건을 가진다.

[0006] 제 2 세대 HTS 와이어 기술에 있어서, 개발중인 HTS 재료는 일반적으로 다결정성 희토류/알칼리-토류/산화구리, 예를 들어 이트륨-바륨-산화구리(YBCO, yttrium-barium-copper oxide)이다. HTS 재료의 전류 운반 용량(current carrying capability)은 결정의 정렬(alignment) 또는 집합조직(texture)과 크게 관련이 있다. 인접하는 결정 HTS 입자의 오정렬(misalignment)에 의해 형성된 입자 경계는 초전도 전류 흐름에 대한 장애를 형성하는 것으로 알려져 있는데, 이러한 장애는 정렬 또는 집합조직의 정도가 증가함에 따라 감소한다. 따라서, 재료를 상업적으로 실용적인 제품(예를 들어 HTS 와이어)화 하기 위해서, HTS 재료는 비교적 긴 거리에 걸쳐 결정의 정렬 또는 집합조직을 고도로 유지해야 한다. 그렇지 않으면, 초전도 전류 운반 용량(임계 전류 밀도)이 제한될 것이다.

[0007] 대면적에 걸쳐 고도의 결정학적 정렬 또는 집합조직을 가진 HTS 재료는, 그의 표면에 고도의 결정학적 집합조직을 가지도록 제작된 가요성 테이프-형태의 기판의 상부에서 재료의 얇은 층을 에피택셜적으로 성장시킴으로써 제작될 수 있다. 결정 HTS 재료가 이러한 표면 위에 에피택셜적으로 성장하는 경우, HTS 재료의 결정 정렬은 기판의 집합조직에 맞게 성장한다. 바꾸어 말하면, 기판 집합조직은 결정성 HTS 재료의 에피택셜 성장(epitaxial growth)을 위한 템플릿(template)을 제공한다. 또한, 기판은 HTS 층에 구조적 완전성(structural integrity)을 제공한다.

[0008] 기판은 높은 임계 전류 밀도와 같은 우수한 초전도 특성을 가진 에피택셜 HTS 층을 생성하는 템플릿을 제공하도록 집합조직화될 수 있다. 그 중에서도 특히 니켈, 구리, 은, 철, 은 합금, 니켈 합금, 철 합금, 스테인리스 스틸 합금 및 구리 합금과 같은 재료가 사용될 수 있다. 기판은 기판의 압연(rolling) 및 재결정화 어닐링(recrystallization annealing)을 포함하는 공정과 같은 변형 공정(deformation process)을 사용하여 집합조직화될 수 있다. 이러한 공정의 예는 압연-보조 이축 집합조직화 기판(RABiTS, rolling-assisted biaxially textured substrate) 공정이다. 이 경우, 대량의 금속은 변형 공정 및 어닐링에 의해 경제적으로 가공될 수 있으며, 고도의 집합조직화를 달성할 수 있다. 예를 들어, 4 cm와 같이 넓은 금속의 스트립(strip)은 지금까지 이러한 방법에 의해 생성되어 왔으며, 이들은 각각 다수 개의 더 작은 와이어로 슬릿팅(slitting) 수 있다(예를 들어, 0.4 cm 와이어의 스트립 10 개).

[0009] 그 위에 HTS 재료를 성장시키기 위해 적합한 결정학적 템플릿을 사용하여 기판 표면 위에 하나 이상의 완충층을 증착시키거나 성장시킬 수 있다. 완충층은 또한 기판 재료로부터의 원자가 HTS 재료의 결정 격자내로 또는 산소가 기판 재료내로 경시적으로 확산되는 것을 방지하는 추가적인 이점을 제공할 수 있다. 이러한 확산 또는 "중독(poisoning)"은 결정의 정렬을 붕괴시켜 HTS 재료의 전기적 특성을 저하시킬 수 있다. 완충층은 또한 기판과 HTS 층 사이의 접착력을 증가시킬 수 있다. 또한, 초전도체 재료의 열팽창 계수와 매우 일치하는 열팽창 계수를 가질 수 있다. 와이어에 응력이 가해질 수 있는 상업적 적용예에서 기술을 구현하는 경우, 이러한 성질은 기판으로부터 HTS 층이 적층분리(delamination)되는 것을 방지하는데 도움을 주기 때문에 바람직하다.

[0010] 다르게는, 하스텔로이(Hastelloy)와 같은 비-집합조직 기판이 사용될 수 있으며, 집합조직 완충층은 이온-빔-보조 증착법(IBAD, ion-beam-assisted deposition) 또는 경사 기판 증착법(ISD, inclined substrate deposition)과 같은 방법에 의해 증착될 수 있다. 추가의 완충층은 IBAD 또는 ISD 층 위에 임의로 에피택셜적으로 증착되어 HTS 층의 에피택셜 증착을 위한 최종 템플릿을 제공할 수 있다.

[0011] 템플릿으로서 하나 이상의 완충층 및 기판의 적합한 조합을 사용함으로써, 결정 정렬 또는 집합조직이 우수하고 템플릿 표면에 대하여 우수한 접착력을 가지며 기판으로부터의 원자에 의한 중독에 대하여 충분한 장벽을 가진 HTS 층이 에피택셜적으로 성장될 수 있다. HTS 층은 금속-유기물 증착(MOD, metal-organic deposition) 공정, 금속-유기물 화학 기상 증착(MOCVD, metal-organic chemical vapor deposition), 펄스 레이저 증착(PLD, pulsed laser deposition), 열 또는 전자빔 증착 또는 다른 적합한 방법을 비롯한 다양한 방법 중 어느 것에 의해 증착될 수 있다. 끝으로, 캡층이 다층 어셈블리에 추가될 수 있으며, 이것은 상부로부터의 HTS 층의 오염을 방지하는데 도움을 준다. 캡층은 예를 들어 은일 수 있고 예를 들어 HTS 층 위에 스퍼터링(sputtered) 수 있다. 예시적인 다층 HTS 어셈블리는 5% 텅스텐과 니켈 합금의 이축 집합조직 기판; 순차적으로 증착된  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , YSZ 및  $\text{CeO}_2$ 의 에피택셜 층; YBCO의 에피택셜 층; 및 Ag의 캡층을 포함한다. 이들 층의 예시적인 두께는 기판이 약 25-

75 미크론, 완충층이 각각 약 75 nm, YBCO 층이 약 1 미크론 및 캡층이 약 1-3 미크론이다. 100 nm와 같이 긴 HTS 와이어는 현재까지 상술한 것들과 같은 기술을 사용하여 제조되어 왔다. 이러한 어셈블리에서, 기판의 바닥은 어셈블리의 "후방부(back)"로 간주될 수 있고, 캡층의 상부는 "전방부(front)"로 간주될 수 있다.

[0012] 사용중, HTS 와이어는 굴곡 변형(bend strain)을 견뎌낼 수 있는 것이 바람직하다. 굴곡은 굴곡부의 볼록한 외부 표면에는 인장 변형을 유도하고 굴곡부의 오목한 내부 표면에는 압축 변형을 유도하는데, 이로써 와이어가 굴곡되어 있는 방향에 따라 HTS 층을 인장 또는 압축 변형시킨다. 적당한 양의 압축 응력은 실제로 HTS 층의 전류 운반 용량을 향상시킬 수 있는 반면, 일반적으로 전체 어셈블리에 응력(특히 반복 응력)을 가하면 와이어를 물리적으로 손상시킬 위험이 있다. 예를 들어, HTS 층에 균열이 형성되고 확장되면 그의 기계적 및 전기적 특성이 저하될 수 있거나, 상이한 층들은 서로로부터 또는 기판으로부터 적층분리될 수 있었다.

[0013] HTS 층내 응력을 감소시키는 방법은 예를 들어 미국 특허 제6,745,059호 및 미국 특허 제6,828,507호에 개시되어 있다. 예를 들어, 기판과 유사한 두께 및 기계적 특징을 가지도록 선택된 구리 스트립(strip)이 인서트(insert)의 상부 표면 위에 결합될 수 있다. 이것은 전체 구조물의 중간에 HTS 층을 대충 끼워 넣는데, 그렇게 하여 어셈블리가 굴곡되면 HTS 층은 굴곡부의 외부 표면에도 내부 표면에도 존재하지 않는다. 이러한 어셈블리 중 둘은 또한 단일 HTS 와이어 어셈블리를 형성하도록 그들 각각의 구리 스트립에 함께 결합될 수 있다. 이 경우, 두 기판 면은 바깥쪽으로 향하고 구리 테이프는 어셈블리의 중간에 존재한다. 이 경우, 제 2 어셈블리의 개재가 부가적인 전류 운반 용량을 제공한다; 그러나 HTS 층들에 대한 전기적 접촉은 와이어 개방부를 잇대거나 접촉부내 인서트 중 하나를 부분적으로 제거할 필요가 있다.

[0014] 코티드 컨덕터 HTS 와이어의 추가적인 문제는 와이어가 사용중일 때 환경적 오염의 문제이다. 환경적인 노출은 HTS 층의 전기적 성능을 서서히 저하시킬 수 있다. 또한, 와이어와 접촉하고 있는 액체 질소와 같은 저온 액체의 존재하에, 액체는 와이어에 존재하는 기공내로 확산할 수 있으며, 가온시 와이어를 손상시킬 수 있는 "벌룬(balloon)"을 형성시킬 수 있다. 와이어의 실링(sealing)은 HTS 층의 환경적 노출 또는 와이어내로의 저온 액체의 침투를 방지하는데 바람직하다. HTS 어셈블리에 대한 실링은 예를 들어 미국 특허 제6,444,917호에 개시되어 있다.

## 발명의 상세한 설명

### 요약

[0016] 개선된 전류 공유성, 우수한 기계적 특성, 환경으로부터 HTS 어셈블리의 우수한 분리성(isolation), 외부 전기 접속 또는 접합에 의한 더욱 효율적인 전기 접촉성 및/또는 향상된 전기적 안정성을 가진 다층의 고온 초전도체(HTS) 와이어가 개시된다. 과전류, 즉 HTS 층의 임계 전류를 초과하는 전류의 경우에 HTS 층을 보호하는 전기적 안정성을 가진 HTS 와이어가 또한 개시된다. 과전류는 HTS 층으로 하여금 저항력을 가지게 하여 열을 발생하도록 할 수 있다. 전기적 안정화는 HTS 층의 국소 영역에서 전류 흐름이 균열 또는 다른 결함에 의해 차단되는 경우에 교류 전류 경로를 제공한다.

[0017] 본 발명의 일면에 따른 적층(laminated) 초전도체 와이어는 일정 길이 및 일정 폭을 가진 초전도체 와이어 어셈블리를 포함한다. 이 어셈블리는 제 1 기판을 덮는(overlaying) 제 1 고온 초전도체 층을 가진 제 1 초전도체 인서트 및 제 2 기판을 덮는 제 2 고온 초전도체 층을 가진 제 2 초전도체 인서트를 포함한다. 제 1 및 제 2 초전도체 인서트는 그들 각각의 기판에 서로 결합된다. 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸는 전기 전도성 구조물이 또한 포함된다.

[0018] 본 발명의 하나의 일면으로, 전기 전도성 구조물은 제 1 전도성 스트립 및 제 2 전도성 스트립을 포함하며, 초전도체 와이어 어셈블리는 제 1 및 제 2 전도성 스트립 사이에 삽입되어 이들과 전기적으로 접촉하고 있다. 구조물은 또한 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제를 포함한다. 충진제는 초전도체 와이어 어셈블리의 길이를 따라 제 1 및 제 2 전도성 스트립 사이에서 연장된다. 하나 이상의 구체예에서, 제 1 및 제 2 전도성 스트립은 초전도체 와이어 어셈블리의 폭보다 큰 폭을 가진다.

[0019] 본 발명의 다른 일면으로, 전기 전도성 구조물은 적어도 삼면을 따라 초전도체 와이어 어셈블리를 부분적으로 에워싸며 그와 전기적으로 접촉하고 있는 전기 전도층을 포함한다. 구조물은 또한 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제를 포함하는데, 이 충진제는 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸고 초전도체 와이어를 전도층에 결합시킨다. 하나 이상의 구체예에서, 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제는 초전도체 와이어 어셈블리내 및 초전도체 와이어 어셈블리와 전도층 사이에 있는 공극을 실질적으로 충진한다.

- [0020] 본 발명의 다른 일면으로, 전기 전도성 구조물은 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸며 초전도체 와이어 어셈블리와 전기적으로 접촉하고 있는 전기 전도성 물질을 포함한다. 하나 이상의 구체예에서, 전기 전도성 물질은 전기 전도성 고분자, 미세 금속 분말로 충진된 고분자 및 전도성 접착제로 구성된 군으로부터 선택된 물질을 포함한다.
- [0021] 하나 이상의 구체예에서, 전기 전도성 물질은 초전도체 와이어 어셈블리를 감싸는(wrapped) 전도성 호일(foil)을 포함한다. 하나 이상의 구체예에서, 실질적으로 비다공성 물질의 적어도 한 층은 전도성 호일을 실질적으로 에워싼다.
- [0022] 하나 이상의 구체예에서, 결합 물질은 제 1 기판 및 제 2 기판을 함께 결합한다. 결합 물질은 전기 전도성 물질 및 전기 비전도성 물질로 구성된 군으로부터 선택된 물질일 수 있다. 결합 물질은 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제와 동일한 물질을 포함할 수 있다. 결합 물질은 전도성 물질의 적어도 한 층 및 비전도성 물질의 적어도 한 층을 포함할 수 있다. 하나 이상의 구체예에서, 제 1 기판 및 제 2 기판은 기판 사이에 전기적으로 접촉을 제공하도록 처리된 표면을 가진다.
- [0023] 하나 이상의 구체예에서, 제 1 및 제 2 기판은 HTS 층으로 덮힌 표면과 대향하는 기판의 표면 위에 증착된 상층하는 제 1 및 제 2 습윤층을 가진다.
- [0024] 하나 이상의 구체예에서, 전도성 물질의 층은 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싼다.
- [0025] 본 발명의 또 다른 일면으로, 적층 초전도체 와이어는 일정 길이 및 일정 폭을 가진 초전도체 와이어 인서트를 포함한다. 이 인서트는 기판의 표면을 덮는 고온 초전도체 층 및 이 고온 초전도체 층과 대향하는 기판의 표면 위에 증착된 습윤층을 포함한다. 이 와이어는 또한 초전도체 와이어 인서트를 실질적으로 에워싸는 전기 전도성 구조물을 포함한다. 이 전기 전도성 구조물은 제 1 전도성 스트립 및 제 2 전도성 스트립을 포함하며, 여기서 초전도체 와이어 인서트는 제 1 및 제 2 전도성 스트립 사이에 삽입되며 이들과 전기적으로 접촉하고 있다. 전기 전도성 구조물은 또한 초전도체 와이어 인서트의 길이를 따라 제 1 및 제 2 전도성 스트립 사이에 연장하는 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제를 포함한다.
- [0026] 하나 이상의 구체예에서, 제 1 및 제 2 전도성 스트립은 초전도체 와이어 어셈블리의 폭 보다 큰 폭을 가진다.
- [0027] 하나 이상의 구체예에서, 전도성 물질의 층은 초전도체 와이어 인서트를 실질적으로 에워싼다.
- [0028] 본 발명의 하나의 일면에 따라, 적층 초전도체 와이어의 제조방법은 일정 길이 및 일정 폭을 가진 초전도체 와이어 어셈블리를 제공하는 단계를 포함한다. 어셈블리는 제 1 기판을 덮는 제 1 고온 초전도체 층을 가진 제 1 초전도체 인서트, 및 제 2 기판을 덮는 제 2 고온 초전도체 층을 가진 제 2 초전도체 인서트를 포함한다. 제 1 및 제 2 초전도체 인서트는 그들 각각의 기판에서 서로 결합된다. 본 방법은 실질적으로 비다공성인 전기 전도성 충진제를 사용하여 제 1 및 제 2 고온 초전도체 층들을 상층하는 제 1 및 제 2 전도성 스트립에 적층하는 단계를 포함한다. 본 방법은 제 1 및 제 2 전도성 스트립 및 충진제가 함께 초전도체 와이어 어셈블리를 실질적으로 에워싸도록 초전도체 와이어 어셈블리의 길이를 따라 제 1 전도성 스트립과 제 2 전도성 스트립 사이에 추가의 충진제를 증착하는 단계를 포함한다.
- [0029] 하나 이상의 구체예에서, 본 방법은 제 1 및 제 2 기판 사이에 결합 물질을 제공하는 단계를 포함한다. 하나 이상의 구체예에서, 본 방법은 고온 초전도체 층과 대향하는 상층하는 제 1 및 제 2 기판의 표면 위에 제 1 및 제 2 습윤층을 제공하는 단계를 포함한다.
- [0030] 본 발명의 하나 이상의 구체예에서, 제 1 및/또는 제 2 초전도체 층은 희토류-알칼리 토류-산화구리로 만들어질 수 있다. 또한, 완충층은 제 1 초전도체 층 및/또는 제 2 초전도체 층 및 하나 이상의 상층하는 기판들 사이에 삽입될 수 있다. 또한, 전기 전도성 캡층은 전기 전도성 구조물 및 상층하는 초전도체 층 사이에 삽입될 수 있고 이들과 전기적으로 접촉할 수 있다.
- [0031] 본 발명의 또 다른 일면으로, 초전도체 와이어 어셈블리는 제 1 기판, 제 1 기판을 덮는 제 1 완충층, 제 1 완충층을 덮는 제 1 고온 초전도체 층, 제 1 고온 초전도체 층을 덮는 캡층을 포함하는 제 1 초전도체 인서트; 및 제 2 기판, 제 2 기판을 덮는 제 2 완충층, 제 2 완충층을 덮는 제 2 고온 초전도체 층 및 제 2 고온 초전도체 층을 덮는 캡층을 포함하는 제 2 초전도체 인서트를 포함한다. 상기 제 1 및 제 2 초전도체 인서트는 그들 각각의 기판에서 함께 결합된다.
- [0032] 본 발명의 하나 이상의 구체예에 따라, 적층 초전도체 와이어는 높은 전류 운반 용량을 가지며, 그와 동시에 개선된 전류 공유성, 환경으로부터 HTS 어셈블리의 우수한 분리성(isolation), 앞서 공지된 와이어 구성물 이상의

사용 용이성을 가질 수 있다.

[0033] "HTS 인서트"란 표현은 기판, 하나 이상의 완충층, HTS 층 및 캡층을 포함하는 다층 구조물을 나타내는 것이다. 일반적으로, 이러한 HTS 인서트에서, HTS 층은 완충층(들)에 의해 금속성 기판으로부터 전기적으로 분리된다. 그러나, 전기 전도성 완충층이 사용되면, HTS 층은 금속 기판에 전기적으로 접속될 수 있다. 다르게는, 전기 전도성 캡층은 HTS 층 및 기판 둘 다와 접촉할 수 있으며, 이 둘 사이에 전기적 접촉을 제공할 수 있다.

[0034] "HTS 어셈블리"란 표현은 적어도 하나의 HTS 인서트를 포함하나 어쩌면 하나 이상의 HTS 인서트 및/또는 다른 부가층을 포함할 수 있는 구조물을 나타내는 것이다. "HTS 와이어" 또는 "HTS 테이프"란 표현은 일반적으로 HTS 인서트 또는 어셈블리에 구조적, 열적 및/또는 전기적 안정성을 제공하는 외부 구조물 및 코팅을 포함하는 HTS 인서트 또는 어셈블리를 나타내는 것이다.

[0035] "실링된"이란 표현은 환경으로부터 실질적으로 예워싸이고 그로부터 실질적으로 물리적으로 분리된 것을 의미하는 것이다. "실링된"이란 표현은 보통의 환경하에 기체 또는 액체로부터의 침투에 대한 실질적인 불침투성을 포함할 수 있으나 반드시 포함할 필요는 없다.

#### 도면의 간단한 설명

[0037] 본 발명을 하기 도면을 참조하여 설명하나, 이를 도면은 단지 예시의 목적으로 나타낸 것으로서, 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다.

[0038] 도 1은 그들의 기판에 결합된 두 개의 HTS 인서트를 가진 어셈블리의 횡단면도를 도시한 것이다.

[0039] 도 2A는 함께 결합되고 두 전도성 안정제 스트립 사이에 적층 및 실링된 HTS 인서트를 가진 와이어를 나타낸다.

[0040] 도 2B는 함께 결합되고 두 전도성 안정제 스트립 사이에 적층 및 실링된 HTS 인서트를 가진 와이어를 제조하는 방법을 나타낸다.

[0041] 도 3A는 삼면 전도성 트로프(conductive trough)의 내측에 실링된 두 개의 결합된 HTS 인서트를 가진 와이어를 나타낸다.

[0042] 도 3B는 삼면 전도성 트로프의 내측에 실링된 두 개의 결합된 HTS 인서트의 다른 정렬을 가진 와이어를 나타낸다.

[0043] 도 4A는 사면 전도성 구조물의 내측에 실링된 두 개의 결합된 HTS 인서트를 가진 와이어를 나타낸다.

[0044] 도 4B는 사면 전도성 구조물의 내측에 실링된 두 개의 결합된 HTS 인서트의 다른 정렬을 가진 와이어를 나타낸다.

[0045] 도 5A는 전도성 호일로 감싼 다음 솔더(solder)로 코팅한 두 개의 결합된 HTS 인서트를 가진 와이어의 횡단면도를 나타낸다.

[0046] 도 5B는 전도성 호일로 감싼 다음 솔더로 코팅한 두 개의 결합된 HTS 인서트를 가진 와이어의 종단면도를 나타낸다.

[0047] 도 6은 금속으로 전기도금된 다음 두 개의 전도성 안정제 스트립 사이에 적층 및 실링된 두 개의 결합된 HTS 인서트를 가진 와이어를 나타낸다.

[0048] 도 7은 그들의 기판에 결합되고 전기 전도성 구조물의 내측에 실링된 두 개의 HTS 인서트를 가진 와이어를 나타내는 본 발명의 또 다른 구체예의 횡단면도를 나타낸다.

[0049] 도 8은 단일 HTS 인서트 및 습윤층을 가지며 전기 전도성 구조물의 내측에 실링된 와이어를 나타내는 본 발명의 또 다른 구체예의 횡단면도이다.

[0050] 도 9는 HTS 인서트를 제조하는데 사용되는 예시적인 공정의 흐름도를 나타낸다.

#### 상세한 설명

[0052] 전기 전도성 외부 구조물을 가진 고온 초전도성 와이어가 기술된다. 전도성 외부 구조물은 그 중에서도 와이어를 실질적으로 실링하고 와이어의 외측으로부터 HTS 인서트에 전기적인 접촉을 제공하는 특징을 가진다. 전도성 외부 구조물은 또한 두 개의 HTS 인서트 사이에 전기적인 접촉을 제공하는 특징을 가질 수 있다.

[0053] 본 발명의 하나 이상의 구체예에 따르는 다층 HTS 어셈블리가 도 1에 횡단면도로 도시되어 있다. 이 도면 및 모

는 후속되는 도면에서, 크기는 축적하여 도시된 것이 아님을 유의해야 한다. 어셈블리(100)는 두 개의 HTS 인서트(110 및 120)로 구성된다. 이들 인서트는 각각 당업계에 공지된 기술을 사용하여 제작된 것으로 아래 더욱 상세히 설명된다. 인서트(110)는 금속 기판(160)을 포함한다. 기판(160)의 적어도 한 표면은 이축 접합조직화되어 완충층(150) 및 HTS 층(140)을 위한 결정 템플릿을 제공한다. 하나 이상의 완충층(들)(150)은 기판(160) 위에 있으며, 하나 이상의 층을 포함할 수 있다. 하나 이상의 구체예에서, 전기 전도성 물질도 사용될 수 있지만, 완충층은 전기 절연 물질로 구성된다. 완충층은 예를 들어 불활성 금속, 산화물, 지르콘산염, 티탄산염, 니오브산염, 질화물, 탄탈산염, 알루민산염, 구리산염, 망간산염, 또는 금속 또는 희토류 원소의 루테늄산염(예를 들어,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ , 티탄산스트론튬, 지르콘산가돌리듐, 이트리아-안정화 지르코니아,  $\text{AlN}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{LaMnO}_4$ ,  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ , 또는  $\text{La}_{2-x}\text{Ce}_x\text{Zr}_2\text{O}_7$ )으로 구성된다. 그 위에 HTS 결정을 성장시키기에 적합한 접합조직을 제공하는 임의의 물질 또는 물질의 조합이 사용될 수 있다. HTS 층(140)은 완충층(150) 위에 있으며 임의의 HTS 재료일 수 있다. 하나 이상의 구체예에서, HTS 층은 희토류-알칼리 토류-산화구리, 이를 테면 YBCO를 포함한다. 캡층(130)은 HTS 층(140) 위에 위치하며 화학적 및 기계적 변형으로부터 HTS 층을 보호한다. 캡층은 스퍼터(sputtered) Ag 또는 다른 불활성 금속일 수 있다. 인서트(120)는 동일하거나 유사한 구조물을 가질 수 있으며, 이들로는 기판(160'), 하나 이상의 완충층(들)(150'), HTS 층(140') 및 캡층(130')이 포함된다. 추가적인 상세한 설명은 "고온 초전도성 와이어 및 코일(High Temperature Superconducting Wires and Coils)"이라는 발명의 명칭으로 본원과 동일자로 출원되었으며 그 전체 내용이 본원에 참고로 인용되는 공동 소유된 미국 특허출원(출원번호 미정)에서 찾아볼 수 있다.

[0054]

HTS 인서트(110 및 120) 사이의 결합을 촉진하기 위해, 일부 상이한 접근법이 예측된다. 이들 접근법은 적층 초전도체 와이어를 제작하는데 있어 쉽게 구현될 수 있으며 길이가 긴 HTS 와이어를 제조하는데 유리할 수 있다. 하나의 접근법으로, 각각의 습윤층(170 및 170')은 임의로 각각의 기판(160 및 160') 위에 코팅될 수 있다. 이들 습윤층은 각각의 인서트가 접착층(180)에 결합하는 것을 촉진하며, 따라서 각각의 인서트가 나머지에 결합하는 것을 촉진한다. 하나 이상의 구체예에서, 접착층(180)은 솔더로 제조된다. 예시적인 솔더는 Pb-Sn-Ag이다. 처리층, 금속성 기판의 후면(즉, 완충층에 면하지 않는 면)은 전기 절연체인 자연 산화물 층을 성장시킬 수 있다. 이 산화물 층은 전형적으로 솔더를 적시지 않는다, 즉 솔더와 결합하지 않는다. 놀랍게도 기판(160 및 160')에 각각 Ag 습윤층(170 및 170')을 추가하면 습윤가능한, 즉 솔더 접착층(180)과 결합가능한 후면을 제조할 수 있다는 것을 알았다.

[0055]

DC 스퍼터링에 의한 Ag의 증착은 표준 작업이다. 코티드 컨덕터 테이프의 해석을 통해, 초전도체 특성을 저하시키지 않는 연속 방식에서 플라즈마는 테이프가 플라즈마를 통과함에 따라 테이프의 냉각이 필요하다고 예측하였다. 테이프는 증착 공정 동안 테이프의 최고 온도를  $-200^{\circ}\text{C}$  이하로 최소화시키기 위해 표적의 반대편에 배치된 냉각 블러를 가로질러 폴링된다. 표적에 대한 인접성은 산화물 표면 위에 Ag 층의 접착을 위해 요구될 수 있다. 아마도 플라스마로부터 전달된 에너지는 증착 표면을 원위치에서 세정하고 우수한 물리적 접촉이 이루어지도록 충분한 충격 에너지를 가진 Ag 이온을 증착시킨다.

[0056]

또 다른 접근법은, 특히 기판 사이에 우수한 전기적 접촉이 요구되는 적용예에 맞게, 기판(160 및 160') 위의 전기 절연성 자연 산화물 층이 먼저 제거될 수 있다. 이러한 제거는 예를 들어 에칭, 전해-연마, 스퍼터링, 또는 쇼트 블라스팅(shot blasting)에 의해 수행될 수 있다. 이어, 기판 표면 위에 자연 산화물이 재성장하는 것을 방지하기 위해, 금속성 습윤층(170 및 170'), 예를 들어 Ag, Cu, Ni, Ti 또는 TiN이 기판(160 및 160')의 각각의 후면에 코팅된다. 추가로, 이들 습윤층(170, 170')은 결합층이 기판 표면에 접착되는 것을 촉진한다. 이어, 솔더 접착층(180)이 두 어셈블리를 함께 결합한다. 그러나, 인서트 사이에 전기적 접촉을 달성하기 위해서 자연 산화물 층의 엄격한 제거는 필요하지 않다. 이하에 더욱 상세히 설명되는 바와 같이, 다층 HTS 어셈블리를 임의로 에워싸는 전기 전도성 물질은 추가적인 전류 공유를 제공할 수 있다.

[0057]

도 1의 구체예는 두 기판을 함께 결합하기 위해 솔더 및 Ag 습윤층을 사용한 것을 나타내지만, 목적하는 와이어의 성능 특성에 따라 다른 접착 기구 및 물질이 사용될 수 있다. 다른 접근법에서, 기판 서로간의 전기적 분리가 바람직한 적용예에 맞게, 접착층(180)은 예를 들어 수지, 에폭시 또는 다른 비-전도성 물질이며, 습윤층(170 및 170')은 기판(160, 160')과 비-전도성 접착층 사이의 결합을 촉진하기 위해 선택된다. 이 경우, 층들 중 일부는 전도성이며 나머지 층들은 비전도성인 것이 가능할 수 있다. 목적하는 접착층이 기판 후면을 적시는 적용예에서, 습윤층(170 및 170')은 완전히 제거될 수 있다. 이 경우, 접착층(180)은 기판(160 및 160')에 직접 접촉한다. 또 다른 접근법에서, 기판(160 및 160') 사이의 접착력 및 전기적 전달(communication)이 필요하지 않는 적용예에 맞게, 예를 들어 실질적으로 실링된 전기 전도성 물질이 와이어에 충분한 구조적 완전성을 제공하는 적용예에서, 습윤층(170 및 170') 및 접착층(180)은 제거될 수 있으며, 이 경우 기판(160 및 160')의 후면이

서로 직접 접촉하게 된다.

[0058] 도 1에 도시된 구체예에서, 접착층(180)은 그들 각각의 기판에서 인서트(110)를 인서트(120)에 결합하여 HTS 어셈블리(100)를 생성한다. 캡층(130 및 130')은 어셈블리(100)의 바깥쪽에 면하고 기판(160 및 160')은 어셈블리(100)의 중심에 존재한다. 이러한 구성은 예를 들어 외부전류원(external current source)과의 효율적인 전기 접촉 및 초전도체 와이어의 효율적인 결합을 제공한다. 어셈블리의 외부 표면은 전기 도전성 캡층(130 및 130')이다. 이 층들은 각각의 HTS 층(140 및 140')에 편리한 전기 전도성 통로를 제공한다. HTS 층에 전류를 도입하도록, 어셈블리의 외부 표면 어디에서나 전류원 및 어셈블리 사이의 접속이 이루어질 수 있다.

[0059] 도 2A는 전술한 것과 같은 수 있는 두 개의 결합된 HTS 인서트(210, 220)를 포함하는 와이어(200), 및 전도성 외부 구조물을 가진 본 발명의 구체예를 나타낸 것이다. 전도성 외부 구조물은 환경으로부터 실질적으로 에워싸고 와이어를 실링하여 두 개의 HTS 인서트 사이의 전기 접촉 및 외부 전기 접촉을 제공한다. 전도성 외부 구조물은 또한 와이어(200)에 기계적, 열적 및 전기적 안정성을 제공한다. 전도성 외부 구조물은 상부 및 하부 전도성 안정제 스트립(250, 270) 및 전기 전도성 비다공성 충진 물질(290), 예를 들어 솔더 또는 다른 저용접 합금 또는 아밀감, 전도성 고분자, 또는 In과 같은 순수 금속을 포함한다. 충진제(290)는 HTS 인서트(210, 220)를 실질적으로 에워싸며, 또한 도 1의 HTS 어셈블리(100)에 도시되어 있는 결합층(180)의 역할을 할 수 있다. 앞서 논의된 바와 같이, 기판(260, 260')은, 충진제(290)(및 서로)에 대한 그들의 결합을 향상시키기 위해 각각의 습 윤층(230, 230')으로 코팅될 수 있다. 충진제(290)는 또한 HTS 인서트의 외부 표면에서 인서트(210, 220)를 전도성 안정제 스트립(250, 270)에 결합시킨다. 충진제(290)는 와이어의 측면위에 두꺼운 층으로 스트립(25, 270)을 가교시키며, 이로써 주위 환경으로부터 HTS 어셈블리를 완전히 분리시키고, 전도성 구조물내 HTS 어셈블리를 실질적으로 완전히 에워싼다.

[0060] 때때로, HTS 층내에 결함이 존재할 수 있는데, 이것은 와이어를 사용하는 동안 층의 저항(및 열)을 상승하게 증가시킨다. 이 경우, 또 다른 HTS 층으로 전류의 일부 또는 모두를 전환시키거나 분로시키는 것이 유용할 수 있다. 이것에 의해 와이어의 길이를 따라 크게 변경되지 않는 전도성을 가진 더욱 균일한 전도체가 생성된다. 이것은 작동 전류가 초전도 장치의 작동에 있어서 일반적인 관례인 임계 전류보다 크게 하회하는 경우에 특히 유용하다. 기판의 대향면에 코팅되는 두 개의 HTS 층을 가진, 단일 기판을 사용하는 두 개의 HTS 층 구조는, 과다한 초전도 통로를 제공하도록, 단일 와이어에 다중 HTS 층을 구현시키는 방법으로 고려된다. 그러나, 이러한 종류의 구조물은 두 HTS 층간의 전기적 관계 및 두 HTS 층의 조성에 대하여 제한된 유연성을 가진 매우 복잡한 제조 공정을 겪는다. 반대로, 그들 기판에서 함께 적층된 두 개의 HTS 인서트를 가진 본 발명의 구체예는 제조 용이성 및 특히 바람직한 적용예에 대한 기판의 맞춤 용이성의 이점을 제공한다.

[0061] 와이어(200)에서, 충진제(290)는 HTS 인서트(210, 220) 사이에 전기적 전달을 제공한다. 본질적으로, 충진제(290)는 전도성 도관 또는 다리로서 거동한다. 충진제(290)가 전도성이라도, 전류가 와이어(200)를 통과하여 흐르기 때문에 전류는 일반적으로 저항성이 낮은 통로를 따를 것이며, 이것은 HTS 인서트(210, 220) 중 하나 또는 둘 다를 통할 수 있다. 그러나, 만일 HTS 인서트(210, 220) 중 하나가 특정 영역에 그의 저항성을 증가시키는 결함을 가지면, 전류는 충진제(290)를 통해 나머지 HTS 인서트로 흐를 수 있다. 전류는 와이어의 일부 계산 가능한 길이(예를 들어, 몇 센티미터)에 걸쳐 인서트 사이에서 이동하기 때문에, 충진제(290)는 HTS 인서트(210, 220) 보다 높은 저항성을 가진다. 이동의 최종 결과는 전류가 저 저항성 경로를 따라, 즉 다른 HTS 인서트를 따라 계속 전도될 수 있다는 것이다. 만일 이 인서트내 상이한 영역에서 결함이 존재하면, 전류는 동일한 곳에 결함을 가지는 경우와는 다르게 다른 인서트로 역으로 이동할 수 있다. 전류에 대한 풍부한 전기적 경로의 존재는 와이어의 전기적 안정성을 향상시킨다. 와이어(200)의 전류 용량은, 단일 인서트를 가진 경우에 있는 국소 결함보다 HTS 인서트(210, 220) 중 어느 곳에 있는 국소 결함에 훨씬 덜 민감하며, 여기서 전류는 와이어의 고 저항성 부분을 통해 강제화될 것이다.

[0062] 충진제(290)에 의해 HTS 인서트(210, 220)에 전기적 전달을 제공하면 또한 단일 인서트 또는 두 개의 분리된 인서트의 전류 운반 용량 이상으로 와이어(200)의 전류 운반 용량이 증가한다. 임계 전류( $I_c$ ) 및 공학적 (총) 임계 전류 밀도( $J_c$ )가 모두 증가된다. 충진제(290)는 HTS 인서트(210, 220) 중 하나 또는 둘 다에 전기 전류를 도입하기 위한 수단을 제공한다. 충진제(290)에 전류원을 간단히 접촉시킴으로써, 전류는 충진제를 통해 HTS 인서트로 흐른다. 충진제(290)가 전도성 안정제 스트립(250, 270)과 접촉하고 있기 때문에, 스트립(250, 270) 중 하나 또는 둘 다에 전류원을 접촉시키면 또한 HTS 인서트(210, 220) 중 하나 또는 둘 다에 전류가 도입된다.

[0063] 물질(290)은 비다공성이 되도록 선택되는데; 하나 이상의 구체예에서, 물질은 충분한 길이를 가지며 와이어(200)를 실질적으로 에워싸고 실링하기에 충분한 두께로 코팅된다. 이는 인서트의 전기적 성능을 저하시킬 수

있는 환경적 인자에 의한 오염에 실질적으로 손상되지 않는 HTS 인서트(210 및 220)를 제공한다. 충진제(290)는, 또한 HTS 인서트를 어찌면 기계적으로 손상시킬 수 있는 벌룬을 형성시킬 수 있는 주위의 저온 유체를 에워쌈으로써 어셈블리로의 침투를 실질적으로 방지할 수 있다. 와이어(200)의 측면위의 두꺼운 충진제(290)의 코팅은 또한 와이어에 기계적 강도를 추가하여, 굴곡 또는 다른 잠재적인 손상원에 의한 와이어(200)의 적층분리를 방지하는데 도움을 줄 수 있다.

[0064] 안정제 스트립(250 및 270)은 또한 와이어(200)의 기계적, 전기적 및 열적 안정성을 향상시킬 수 있다. 스트립(250, 270)은 생성되는 와이어의 목적하는 특징에 따라 동일하거나 상이할 수 있다. 스트립의 두께는 목적하는 적용예에 따라 약 0.01-2 mm의 범위에서 변할 수 있다. 초전도 케이블의 경우, 두께는 전형적으로 0.05-0.075 mm이다. 한류기(fault current limiter) 적용예의 경우, 안정제 두께는 1 mm와 같거나 클 수 있다. 스트립(250 및 270)에 사용되는 물질은 목적하는 적용예를 위해 와이어(200)에 적합한 전기적, 열적 및 기계적 안정성을 제공하도록 선택된다. 스트립(250 및 270)은 일반적으로 가요성 전도성 물질, 예를 들어 금속(알루미늄, 구리, 은, 니켈, 철, 스테인레스 스틸, 알루미늄 합금, 구리 합금, 은 합금, 니켈 합금, 니켈 텅스텐 합금 또는 철 합금)이다. 대부분의 적용예의 경우, 구리와 같은 고 전도성 금속이 바람직하다. 한류기 적용예의 경우, 기계적으로 강하고 높은 저항성 합금, 이를 테면 스테인리스 스틸이 바람직하다.

[0065] 일부 구체예에서, 안정제 스트립(250 및 270)은 HTS 인서트(210 및 220)의 폭보다 큰 폭을 가진다. 이러한 초과하는 폭 및 돌출부(overhang)는 충진제(290)의 충돌 또는 필릿(fillet)들이 모세관 작용에 의해 와이어의 측면을 따라 형성되도록 한다. 바람직한 구체예에서, 필릿들은 와이어의 가장자리에 비해 오목한 프로파일을 가진다. 이러한 필릿은 모세관 작용에 의해 형성되기 때문에, HTS 어셈블리(210, 220)의 폭을 초과하는 스트립(250, 270)의 폭이 필릿의 두께를 결정한다. 일반적으로, 스트립(250, 270)의 폭은 HTS 어셈블리(210, 200)의 폭보다 0.01-2 mm 크다. 예를 들어, 약 4.3 mm의 폭을 가진 안정제 스트립은 4.0 또는 4.1 mm의 폭을 가진 초전도 인서트와 함께 사용될 수 있다. 필릿은 와이어(200)의 기계적 강도 및 내구성을 향상시킬 수 있다. 더 넓은 필릿은 강도를 향상시키지만, 공학적 임계 전류 밀도를 감소시킨다. 최적으로 설계된 와이어는 기계적인 상세사항을 충족시키기에 충분한 충진제 폭을 가질 것이나 너무 크지는 않다. 전형적인 개개의 필릿의 폭 범위는 0.025-0.2 mm이나, 특수한 강도 및 공학적 임계 전류 요건을 충족시키기 위해 더 크거나 작을 수 있다(예를 들어, 0.005-1 mm).

[0066] 다른 이유 중에서도, 앞서 설명한 바와 같이, 기판(260, 260')은 인서트를 가공하는 동안 그들의 산화에 의해 솔더와 잘 결합할 수 없기 때문에, 충진제(290)의 두꺼운 필릿은 와이어(200)의 기계적 강도를 향상시킨다. 습윤층(예를 들어, 230, 230')은 기판 표면 위에 증착되어 솔더에 대한 그들의 결합을 개선할 수 있지만, 와이어의 측면 위, 예를 들어 다층 HTS 인서트(210, 220)의 노출된 가장자리 위에 이러한 코팅을 증착하는 것은 생산비용을 증가시키기 때문에 실용적일 수 없다. 그러나, 충진제가 다층 어셈블리의 다른(기판이 아닌) 층에 충분히 접착되어 기판 측면으로부터 적층박리되지 않는 충분한 강도를 가지도록, 충진제(290)의 두꺼운 필릿은 와이어(200)의 측면 위에 증착될 수 있다. 충진제(290)로서 사용되는 일부 물질, 예를 들어 Sn-Pb-Ag 솔더는 실온으로부터 77 K로 냉각시켰을 때 상당히 강해졌으며(3-배), 총 강도에 대한 그의 기여도는 유의적일 수 있다.

[0067] HTS 인서트(210, 220)를 초과하는 안정제 스트립(250, 270)의 돌출부를 조정함으로써, 필릿은 적절한 두께로 제조될 수 있다. 전형적인 예로서, 다음의 와이어가 예시될 수 있다: 폭 40 mm의 전도체는, 모든 완충 및 초전도체 증착/반응 단계의 종료후 스퍼터 증착을 사용하여 0.003 mm의 두꺼운 Ag 층으로 두 측면 위에 코팅된다. 폭 40 mm의 전도체는 릴투렐(reel to reel) 방식으로 폭 4.1 mm의 인서트 8 개로 슬릿팅된다. 각각의 인서트는, 약간의 Ag가 첨가될 수 있는 Sn-Pb 솔더를 사용하여 두 측면 위에 0.05 x 4.3 mm 구리 155 안정제 스트립에 릴투렐 적층 공정으로 적층될 수 있다. 생성된 와이어의 폭은 4.3-4.4 mm에서 변할 수 있다. 솔더 필릿의 평균 폭은 약 0.15-0.2 mm이다.

[0068] 와이어(200)는 도 2B에 도시된 바와 같이 제조될 수 있다. HTS 와이어 인서트는 넓은(예를 들어, 약 4 내지 10 cm 폭) 다층 스트립으로서 제작된 다음, 몇 개의 좁은(예를 들어, 4 cm 폭 스트립으로부터 약 0.4 cm 폭 스트립 약 10 개) 스트립으로 길이방향으로 슬릿팅되고, HTS 인서트(210, 220)를 형성한다. 안정제 스트립이 양 측면위에서 HTS 스트립 위로 돌출하도록, 전도성 안정제 스트립(250, 270)의 폭은 좁은 HTS 스트립의 폭보다 넓을 수 있다. 슬릿팅된 후, 와이어는, 충진제(290) 욕조중에서 좁은 HTS 인서트 스트립(210, 220)을 안정제 스트립(250, 270)과 결합시킴으로써 형성될 수 있다. 예를 들어, 다층 HTS 인서트(210, 220)는 릴로부터 충진제 욕조내로 공급될 수 있다. 안정제 스트립(250, 270)은, 물질의 길이가 스택 구조(stacked configuration)를 형성하도록 HTS 인서트(210, 220)의 공급 릴 위 및 아래에 위치된 릴에서 떨어져 공급될 수 있다. 충진제는 HTS 인서트(210, 220)를 동시에 에워싸며, 또한 전도성 안정제 스트립(250, 270)에 이들을 적층시킨다. 다이(295)는 인

서트(210, 220) 및 안정제 스트립(250, 270)을 하나의 초전도 와이어(200)내로 융합시키고 강고하게 한다. HTS 인서트를 제작 및 슬릿팅한 후 와이어에 안정제 스트립을 적층함으로써, 안정제 스트립은 인서트보다 넓게 용이하게 제조될 수 있다. 돌출부 특징은 상부 및 하부 안정제 스트립(250, 270) 사이에서 솔더의 모세관 위킹(capillary wicking)을 촉진하여 와이어의 측면 위에 충진제(290)의 두껍고 기계적으로 강건한 필럿을 제공한다.

[0069] 도 3A는 전술한 것과 동일할 수 있는 두 개의 결합된 HTS 인서트(310, 320)를 비롯한 HTS 어셈블리 및 전도성 외부 구조물을 포함하는 와이어(300)를 가진 본 발명에 또 다른 구체예를 나타낸다. 전도성 외부 구조물은 HTS 어셈블리의 세 측면을 덮은 제 1 구성부재(350), 예를 들어 단일 부품 또는 복수 개의 부품의 조립될 수 있는 삼-측벽 트로프, 및 전기 전도성 비-다공성 충진제(390)를 포함한다. 충진제(390), 예를 들어 솔더는 인서트(310, 320)를 에워싸며 전술한 바와 같이 이들을 그들 각각의 기판에서 함께 결합시킨다. 충진제(390)는 삼면 구성부재(350)와 HTS 인서트(310, 320) 사이에 및 또한 인서트들 사이에 전기적 통로를 제공한다. 충진제(390)는 인서트(310, 320)를 삼면 구성부재(350)내로 실링한다.

[0070] 삼면 구성부재(350)는 가요성 전도성 물질, 예를 들어 금속(알루미늄, 구리, 은, 니켈, 철, 스테인레스 스틸, 알루미늄 합금, 구리 합금, 은 합금, 니켈 합금, 니켈 텅스텐 합금 또는 철 합금)으로 제조된다. 안정제 스트립(250 및 270)에 대해 도 2A에 상술된 바와 같이, 삼면 구성부재(350)를 위한 물질은 목적하는 적용예를 위해 와이어에 전기적, 열적 및 기계적 안정성을 제공하도록 선택된다. 삼면 구성부재의 벽면은 예를 들어 0.0001-0.5 mm의 두께를 가질 수 있고, 목적하는 적용예에 따라 더 두꺼울 수 있다(예를 들어, 0.0001-1 mm). 삼면 구성부재(350)는 인서트(310 및 320) 보다 넓은 폭 및 HTS 어셈블리의 두께 보다 깊은 깊이를 가진다. 이것은 측면 모두에서 어셈블리를 실질적으로 에워싸고 와이어(300)를 실질적으로 실링하기 위해 충분히 두꺼운 층의 충진제(290)를 고려한 것이다. 와이어(300)는 먼저 HTS 인서트(310, 320)를 제공함으로써 제조되며, 이것은 전술한 바와 같이 넓은 스트립으로부터 슬릿팅될 수 있다. 이어, 충진제(390), 예를 들어 솔더의 욕조에서, 인서트(310, 320)는 함께 동시에 결합되며, 삼면 구성부재(350)내에 삽입된 충진제(390)에 의해 에워싸가고, 삼면 구성부재 내로 실링된다.

[0071] 도 3B는 삼면 구성부재(350')의 내측에 실링되어 있으며 전술한 바와 동일할 수 있는 두 개의 결합된 HTS 인서트(310', 320')의 다른 정렬을 가진 와이어를 도시한 것이다. 전기 전도성 비다공성 충진제(390'), 예를 들어 솔더는 인서트(310' 및 320')를 실질적으로 에워싸며 이들을 그들 각각의 기판에서 함께 결합시킨다. 충진제(390')는 HTS 인서트(310', 320')에 및 이들 사이에 전기적 경로를 제공한다. 충진제(390')는 전술한 것과 동일 할 수 있는 삼면 구성부재(350')에 인서트(310', 320')를 실링한다. 이러한 와이어에서, 삼면 구성부재(350')는 어셈블리의 두께보다 넓은 폭 및 어셈블리의 폭보다 깊은 깊이를 가진다. 이것은 측면 모두에서 어셈블리를 실질적으로 에워싸고 와이어(300')를 실질적으로 실링하기 위해 충분히 두꺼운 층의 충진제(390')를 고려한 것이다. 와이어(300')는 도 3A에 기술된 바와 같이 제조될 수 있다.

[0072] 도 4A는 도 3A 및 3B의 삼-측벽 트로프 이상의 추가적인 기계적 안정성을 제공할 수 있고 사-측벽 구조물(450)의 내측에 실링되어 있으며 전술한 바와 동일할 수 있는 HTS 인서트(410, 420)를 가진 와이어(400)를 도시한 것이다. 전기 전도성 비다공성 충진제(490), 예를 들어 솔더는 전술한 바와 같이 인서트(410 및 420)를 에워싸며 이들을 그들 각각의 기판에서 함께 결합시킨다. 충진제(490)는 HTS 인서트(410, 420)에 및 이들 사이에 전기적 경로를 제공한다. 충진제(490)는 사-측벽 구조물(450)내로 인서트(410, 420)를 실링한다. 구조물(450)의 내부 치수는 결합된 HTS 인서트(410 및 420)의 적합한 치수보다 크다. 이것은 측면 모두에서 인서트를 실질적으로 에워싸고 와이어(400)를 실질적으로 실링하기 위해 충분히 두꺼운 층의 솔더를 고려한 것이다. 와이어(400)는 먼저 HTS 인서트를 제공함으로써 제조되며, 이것은 전술한 바와 같이 넓은 스트립으로부터 슬릿팅될 수 있다. 구조물(450)의 벽중 하나는 HTS 인서트(410 및 420)를 수용하기 위해 적당한 공간을 남겨두도록 개방되어 있다. 솔더 욕조에서, 인서트는 이어 구조물(450)내로 동시에 삽입되어 함께 결합되고 솔더에 의해 에워싸인다. 구조물(450)의 개방 벽이 위에 기계적으로 접철되어(folded) 인서트 및 솔더를 에워싼다. 솔더는 도면에서 알 수 있는 바와 같이 접철로부터 남겨진 틈을 충진한다.

[0073] 도 4B는 사-측벽 구조물(450')의 내측에 실링되어 있으며 전술한 바와 동일할 수 있는 두 개의 결합된 HTS 인서트(410', 420')의 다른 정렬을 가진 와이어(400')를 도시한 것이다. 전기 전도성 비다공성 충진제(490'), 예를 들어 솔더는 전술한 바와 같이 인서트(410' 및 420')를 에워싸며 이들을 그들 각각의 기판에서 함께 결합시킨다. 충진제(490')는 HTS 인서트(410', 420')에 및 이들 사이에 전기적 경로를 제공한다. 충진제(490')는 사-측벽 구조물(450')내로 인서트(410', 420')를 실링한다. 구조물(450')의 내부 치수는 결합된 HTS 인서트(410' 및 420')의 적합한 치수보다 크다. 이것은 측면 모두에서 인서트를 에워싸고 구조물을 실링하기 위해 충

분히 두꺼운 층의 솔더를 고려한 것이다. 와이어(400')는 도 4A에 기술된 바와 같이 제조될 수 있다.

[0074] 도 5A 및 도 5B에 상이한 원근법으로 도시된 또 다른 구체예에서, 얇은 전도성 호일이 HTS 어셈블리 주위를 감싼다. 획단면도 5A에서, 접착층(580)은 HTS 인서트(510, 520)를 함께 결합시키며, 이는 전술한 바와 동일할 수 있다. 전도성 호일(590)은 결합된 인서트 주위를 단단하고 인접하게 감싼다. 이것은 인서트(510, 520)와의 전기 접촉성이 우수한 호일(590)을 배치하여 인서트간의 전기적 전달 경로를 제공한다. 도 5B에서 알 수 있는 바와 같이, 인서트(510', 520') 주위에 각각 인접한 호일(590')의 랩(wrap)이 이전의 랩과 중첩하여 와이어 주위에 실링을 제공한다. 호일의 두께는 적용예에 따라 넓은 범위, 예를 들어 0.0001-0.5 mm 사이에서 변할 수 있다. 실질적으로 비다공성 실러(sealer)(570)가 호일(590)의 상부에 코팅된다. 실러(570)는 전기 전도성 물질일 수 있으며, 이 경우 실러(570) 및 호일(590)은 함께 와이어의 외측으로부터 HTS 인서트(510, 520)로 전기적 통로를 제공한다. 또 다른 구체예에서, 실러(570)는 실질적으로 비다공성인 비전도성 물질일 수 있으며, 이 경우, 와이어(500)의 외부는 전기적으로 절연된다. 이 경우, 와이어(500)의 외측으로부터 HTS 인서트(510, 520)로 전도성 접속(conductive connection)을 제조하기 위해, 실러(570)는 박리되어야 한다. 이것은 전도성 호일(590)에 액세스를 허용하며, 이는 HTS 인서트(510, 520)와 전기적 접촉 상태에 있다. 와이어(500)는 전술한 바와 같이 HTS 인서트(510, 520)를 제공 및 결합한 다음 생성된 어셈블리 주위에 전도성 호일(590)을 기계적으로 감쌈으로써 제조될 수 있다. 그후, 와이어(500)를 실러(570), 예를 들어 솔더의 욕조에 통과시킬 수 있으며, 이것은 와이어(500)를 실질적으로 에워싸고 실링한다.

[0075] 도 6에 도시된 또 다른 구체예에서, 와이어(600)는, 접착층(680)과 결합되어 있고 전술한 바와 동일할 수 있는 두 개의 HTS 인서트(610, 620), 층(690) 및 도 2A에 도시된 것과 유사한 두 개의 테이프 구조물을 포함한다. 층(690)은 610, 620, 680을 실질적으로 에워싸며 이들 사이에 전기적 접촉을 제공한다. 층(690)은 예를 들어 어셈블리(610, 620, 680) 위에 침착된 금속성 코팅이다. Cu, Ag, Ti, TiN 및 Sn이 어셈블리 위에 증착될 수 있는 금속의 예이다. 다르게는, 층(690)은 예를 들어 전도성 매질을 생성하도록 전도성 고분자, 금속성 분말을 함유하는 고분자 또는 전도성 접착체의 코팅이다. 선택된 코팅인 전도성 안정제 스트립(650, 660)은, 도 2에 도시된 와이어에 대하여 기술된 바와 같이 충진체(670)와 함께 어셈블리에 적층된다. 충진체(670)는 도 2에 기술된 것과 동일할 수 있다. 충진체(670)와 함께 안정제 스트립(650, 660)은, 층(690)에 의해 제공된 것 이외에 와이어(600)에 구조적, 열적 및 전기적 완전성을 제공한다. 와이어(600)는 그의 강도 및 내구성이 향상된 다수의 특징을 가지기 때문에, 가혹한 환경 조건 또는 과도한 기계적 응력을 가진 적용예에 유용하다. 코팅된 어셈블리(610, 620, 680, 690)는 또한 추가적인 안정성을 필요로 하는 적용예의 경우 상술한 구체예 중 어느 것에 삽입될 수 있다.

[0076] 도 7에 나타낸 바와 같이 본 발명의 하나 이상의 구체예에서, 와이어는, 접착층(780)과 결합되어 있고 전술한 바와 동일할 수 있는 두 개의 HTS 인서트(710, 720) 및 전기 전도층(790)을 포함한다. 층(790)은 HTS 어셈블리(710, 720, 780)를 실질적으로 에워싸고 실링한다. 층(790)은 HTS 인서트(710, 720) 사이에 전기적 전달을 제공한다. 층(790)은 증착된 금속 코팅일 수 있다. 금속은 전기도금 공정에 의하거나 금속 분말 소결처리 공정에 의하거나 무전해 도금 공정에 의해 증착될 수 있다. 전기도금, 분말 소결처리 및 무전해 도금 방법은 잘 알려져 있다. Cu, Ag, Ti, TiN 및 Sn이 어셈블리(710, 720, 780) 위에 증착될 수 있는 금속의 예이다. 또 다른 구체예에서, 층(790)은 전도성 고분자 또는 금속성 분말을 함유하는 고분자이다. 고분자 코팅은 고분자 층 두께를 조절하기 위해 일렬로(in-line) 다이(die) 또는 와이프(wipe)를 사용하여 릴투릴 딥 코팅 및 경화 공정을 통해 적용될 수 있다. 또 다른 종류의 전도성 물질이 층(790)에 사용될 수 있다. 이들 물질은 HTS 인서트(710, 720) 사이에 및/또는 HTS 인서트(710, 720) 및 외부 전도성 접촉 사이에 우수한 전기적 접촉을 제공하는 특성을 가진다. 이들 물질은 또한 실질적으로 비다공성일 수 있으며, 생성된 와이어(700)를 실질적으로 에워싸고 실링하기에 충분한 두께로 증착될 수 있다.

[0077] 상술한 구체예는 그들의 기판에 의해 함께 결합되고 다른 종류의 외부 구조물의 내측에 삽입된 HTS 인서트를 포함하는 와이어인 반면, 기술된 와이어 중 어느 것에 사용하기 위해 다른 HTS 어셈블리가 예측될 수 있다. 예를 들어 하나 이상의 구체예에서, 도 7의 코팅된 와이어(700)는 그 자체로 하나 이상의 상술한 외부 전도성 구조물에 삽입될 수 있다.

[0078] 다중 HTS 인서트와 함께 사용되는 본원에 기술된 신규한 습윤층이 또한 전기 전도성 외부 구조물을 가진 단일 HTS 인서트를 제조하는데 사용될 수 있다. 하나 이상의 구체예에서, 단일 HTS 어셈블리는 하나 이상의 상술한 외부 구조물에 삽입될 수 있다. 도 8과 관련하여, 와이어(800)는 전술한 바와 동일할 수 있는 HTS 인서트(810)를 포함한다. 와이어(800)는 또한 외부 구조물(890)을 포함하며, 여기서 외부 구조물(890)은 도 2-7에 도시된 구체예 중 어느 것의 외부 전도성 구조물을 나타낸다. HTS 인서트(810)는, 도 1에 도시된 구성의 인서트(110)와

동일한 구성부재 및 특징을 가질 수 있는 기판(860), 완충층(850), HTS 층(840) 및 캡층(830)을 포함한다. 인서트(810)는 또한 기판(860) 위에 증착된 습윤층(870)을 가진다. 이 경우, 습윤층(870)은, 이것이 기판(860)과 외부 구조물(890) 사이에 우수한 접착력을 제공하도록 선택될 수 있다. 외부 구조물(890)은 HTS 층(840)과 전기적으로 접촉되어 있다. 따라서, 외부 구조물(890)에 전류원을 간단히 접촉시키면, 전류가 HTS 층내로 흐를 것이다. 외부 구조물(890)은 HTS 인서트(810)를 실질적으로 에워싸고 실링한다.

[0079] 기술된 와이어는 기판, 하나 이상의 완충층(들), 희토류 산화물 초전도체 및 캡층을 가진 어셈블리 및 HTS 인서트를 포함하는 반면, 와이어는 이러한 특정 종류의 초전도체 인서트 또는 어셈블리를 사용하는 것에 제약되지 않는다. HTS 층을 포함하는 한 어떠한 종류의 HTS 어셈블리도 사용될 수 있다. 예를 들어, 획사(와이어 축에 수직)의 저 전도성 및 종사의 고 전도성(와이어 축을 따라)을 가진 메쉬(mesh)-형태의 안정제가 전도성 안정제 스트립을 대신하여 사용될 수 있다. 이러한 형태의 안정제는 교류 전류 적용예에서 과전류 손실을 감소시키는 이점을 가진다. 적합한 메쉬-형태의 안정제에 대한 더욱 상세한 설명은 "필라멘트형 코팅된 초전도체를 위한 메쉬-형태 안정제(Mesh-Type Stabilizer for Filamentary Coated Superconductors)"라는 발명의 명칭을 가진 공동 소유된 미국 특허출원 제60/667,001호에서 찾아볼 수 있으며, 이 문헌은 그 전체 내용이 본원에 참고로 인용된다.

[0080] 도 9는 본 발명의 각종 구체예에 따른 HTS 와이어를 제조하기 위해 사용된 예시적 공정의 흐름도를 나타낸다. 제 1 스테이션(910)에서, 와이어 기판은 이축 집합조직을 얻을 수 있도록 처리된다. 바람직하게도, 기판 표면은 비교적 명확하게 정의된 결정 배향(crystallographic orientation)을 가진다. 예를 들어, 표면은 이축 집합조직 표면(예를 들어, (113) [211] 표면) 또는 입방 집합조직 표면(예를 들어, (100)[011] 표면 또는 (100)[001] 표면)일 수 있다. 바람직하게도, 표면의 X-선 회절 극점도에서의 피크는 약 20° 미만(예를 들어, 약 15° 미만, 약 10° 미만, 또는 약 5° 내지 약 10°)의 FWHM을 가진다.

[0081] 표면은 예를 들어 압연 및 어닐링에 의해 제조할 수 있다. 표면은 또한 이온 빔 보조 증착법, 경사 기판 증착법 및 당업자에게 공지되어 있는 기타의 진공 기술과 같은 진공 공정을 사용하여 제조하여, 예를 들어 무작위적으로 배향된 다결정 또는 비정질 표면 위에 이축 집합조직화된 표면을 형성할 수도 있다. 특정 구체예(예를 들어, 이온 빔 보조 증착이 사용되는 경우)에서, 기판의 표면은 집합조직화될 필요가 없다(예를 들어, 표면은 무작위적으로 배향된 다결정일 수 있거나, 표면은 비정질일 수 있다).

[0082] 기판은 완충층 스택 및/또는 초전도체 물질의 층을 지지할 수 있고 최종 와이어에 필요한 기계적 특성을 제공할 수 있는 임의의 물질로 형성될 수 있다. 기판으로서 사용될 수 있는 기판 물질의 예로는 금속 및/또는 합금, 이를 테면 니켈, 은, 구리, 아연, 알루미늄, 철, 크롬, 바나듐, 팔라듐, 몰리브덴 및/또는 이들의 합금이 포함된다. 일부 구체예에서, 기판은 초합금으로 이루어질 수 있다. 특정 구체예에서, 기판은 비교적 얇은 표면적을 가지는 물체(예를 들어, 와이어 또는 웨이퍼)의 형태일 수 있다. 이들 구체예에서, 기판은 비교적 가요성 물질로 형성되는 것이 바람직하다.

[0083] 이들 구체예 중 일부 구체예에서, 기판은 구리, 니켈, 크롬, 바나듐, 알루미늄, 은, 철, 팔라듐, 몰리브덴, 텉스텐, 금 및 아연과 같은 금속 중 두 가지 금속을 함유하는 2원 합금이다. 예를 들어, 2원 합금은 니켈 및 크롬(예를 들어, 니켈 및 최대 20 원자%의 크롬, 니켈 및 약 5 원자% 내지 약 18 원자%의 크롬, 또는 니켈 및 약 10 원자% 내지 약 15 원자%의 크롬)으로 형성될 수 있다. 다른 예로서, 2원 합금은 니켈 및 구리(예를 들어, 구리 및 약 5 원자% 내지 약 45 원자%의 니켈, 구리 및 약 10 원자% 내지 약 40 원자%의 니켈, 또는 구리 및 약 25 원자% 내지 약 35 원자%의 니켈)로 형성될 수 있다. 추가 예로서, 2원 합금은 니켈 및 텉스텐(예를 들어, 약 1 원자%의 텉스텐 내지 약 20 원자%의 텉스텐, 약 2 원자%의 텉스텐 내지 약 10 원자%의 텉스텐, 약 3 원자%의 텉스텐 내지 약 7 원자%의 텉스텐, 약 5 원자%의 텉스텐)을 함유할 수 있다. 2원 합금은 또한 비교적 소량의 불순물(예를 들어, 약 0.1 원자% 미만의 불순물, 약 0.01 원자% 미만의 불순물, 또는 약 0.005 원자% 미만의 불순물)을 포함할 수 있다. Ni-5wt%W가 기판에 대한 바람직한 물질이다.

[0084] 이들 구체예 중 특정 구체예에서, 기판은 두 가지 이상의 금속(예를 들어, 3원 합금 또는 4원 합금)을 함유한다. 이들 구체예 중 일부 구체예에서, 합금은 하나 이상의 산화물 형성제(예를 들어, Mg, Al, Mo, V, Ta, Ti, Cr, Ga, Ge, Zr, Hf, Y, Si, Pr, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Lu, Th, Er, Tm, Be, Ce, Nd, Sm, Yb 및/또는 La, 이 중 Al이 바람직한 산화물 형성제임)뿐 아니라, 구리, 니켈, 크롬, 텉스텐, 바나듐, 알루미늄, 은, 철, 팔라듐, 몰리브덴, 금 및 아연 중 두 가지의 금속을 함유할 수 있다. 이들 구체예 중 특정 구체예에서, 합금은 구리, 니켈, 크롬, 텉스텐, 바나듐, 알루미늄, 은, 철, 팔라듐, 몰리브덴, 금 및 아연 중 2개의 금속을 함유할 수 있으며, 상술한 산화물 형성제 중 임의의 형성제는 실질적으로 없을 수 있다.

- [0085] 합금이 산화물 형성제를 함유하는 구체예에서, 합금은 최소 약 0.5 원자%의 산화물 형성제(예를 들어, 최소 약 1 원자%의 산화물 형성제, 또는 최소 약 2 원자%의 산화물 형성제) 및 최대 약 25 원자%의 산화물 형성제(예를 들어, 최대 약 10 원자%의 산화물 형성제, 또는 최대 약 4 원자%의 산화물 형성제)를 함유할 수 있다. 예를 들어, 합금은 산화물 형성제(예를 들어, 최소 약 0.5 원자%의 알루미늄), 약 25 원자% 내지 약 55 원자%의 니켈(예를 들어, 약 35 원자% 내지 약 55 원자%의 니켈, 또는 약 40 원자% 내지 약 55 원자%의 니켈), 나머지는 구리를 포함할 수 있다. 다른 예로서, 합금은 산화물 형성제(예를 들어, 최소 약 0.5 원자%의 알루미늄), 약 5 원자% 내지 약 20 원자%의 크롬(예를 들어, 약 10 원자% 내지 약 18 원자%의 크롬, 또는 약 10 원자% 내지 약 15 원자%의 크롬), 나머지는 니켈을 포함할 수 있다. 합금은 비교적 소량의 추가 금속(예를 들어, 약 0.1 원자% 미만의 추가 금속, 약 0.01 원자% 미만의 추가 금속, 또는 약 0.005 원자% 미만의 추가 금속)을 포함할 수 있다.
- [0086] 합금으로 이루어진 기판은, 예를 들어 분말 형태로 성분을 혼합하고 용융 및 냉각시키거나, 예를 들어 고체 상태에서 분말 성분을 함께 확산시켜 제조할 수 있다. 그 뒤 합금은 변형 집합조직화(예를 들어, 어닐링 및 압연, 스웨이징(swaging), 압출 및/또는 드로잉(drawing))에 의해 집합조직화된 표면(예를 들어, 이축 집합조직 표면 또는 입방 집합조직 표면)을 형성할 수 있다. 또는, 합금 성분을 젤리 를 형상으로 쌓은(stacked) 뒤, 변형 집합조직화시킬 수 있다. 일부 구체예에서, 비교적 열 팽창 계수가 낮은 물질(예를 들어, Nb, Mo, Ta, V, Cr, Zr, Pd, Sb, NbTi, NiAl 또는 Ni<sub>3</sub>Al과 같은 금속간 화합물, 또는 이들의 혼합물)은 변형 집합조직화 이전에 로드(rod)로 형성하여 합금에 포매시킬 수 있다.
- [0087] 일부 구체예에서, 기판 표면 위에 배치되어 있는 중간층을 사용하여 이축 집합조직 합금 표면 위에 제 1 에피택셜 층(예를 들어, 완충층)이 형성될 때까지, 표면에서 안정한 산화물이 형성되는 것을 완하시킬 수 있다. 상기 중간층은 에피택셜 완충층 막의 초기 성장에 필요한 온도 및 PO<sub>2</sub>에 의해 설정된 조건에 노출되었을 경우 표면 산화물을 형성하지 않는 에피택셜 금속 또는 합금층을 포함한다. 또한, 완충층은 기판 구성요소(들)가 중간층의 표면으로 이동하는 것을 방지하고, 에피택셜 층의 초기 성장 동안 산화물이 형성되는 것을 방지하기 위한 장벽으로서 작용한다. 이러한 중간층이 없는 경우, 예를 들어, 상기 산화물 층내 집합조직의 부재로 인해, 기판의 하나 이상의 구성요소는 에피택셜 층의 증착을 유의적으로 지연시킬 수 있는, 기판 표면에서의 열역학적으로 안정한 산화물(들)을 형성한다고 예상할 수 있다.
- [0088] 예시적인 중간 금속 층으로는 니켈, 금, 은, 팔라듐 및 이들의 합금이 포함된다. 추가 금속 또는 합금으로는 니켈 및/또는 구리의 합금이 포함될 수 있다. 중간층에 증착된 에피택셜 막 또는 층은 금속 산화물, 칼코겐의 이원 화합물(chalcogenide), 할로젠화물 및 질화물을 포함할 수 있다. 일부 구체예에서, 중간 금속 층은 에피택셜 막 증착 조건 하에서는 산화되지 않는다.
- [0089] 증착된 중간층은, 초기 완충층 구조의 핵화 및 성장으로 에피택셜 층이 확립되기 전에, 기판으로 완전히 혼입되지 않거나 기판으로 완전히 확산되지 않도록 주의를 기울여야 한다. 이는 기판 합금의 확산 상수, 실질적인 에피택셜 완충층 성장 조건하 산화에 대한 열역학적 안정성 및 에피택셜 층과 일치하는 격자와 같은 적절한 특성을 얻기 위해 금속(또는 합금)을 선택한 후, 증착된 금속 층의 두께를 에피택셜 층 증착 조건, 특히 온도에 맞춰 조정해야 함을 뜻한다.
- [0090] 중간 금속층은 증발 또는 스퍼터링과 같은 진공 공정으로, 또는 (전극을 사용하거나 사용하지 않는) 전기도금과 같은 전기-화학적 수단에 의해 증착시킬 수 있다. 이를 증착된 중간 금속층은 (증착하는 동안의 기판 온도에 따라) 증착후 에피택셜이거나 에피택셜이 아닐 수 있으나, 증착후 열처리하는 동안 에피택셜의 배향을 후속적으로 얻을 수 있다.
- [0091] 특정 구체예에서, 황은 중간층 또는 기판의 표면 위에 형성될 수 있다. 황은, 예를 들어 중간층을 황(예를 들어, H<sub>2</sub>S, 탄탈륨 호일 또는 은 호일) 및 수소(예를 들어, 수소, 또는 수소와 불활성 기체의 혼합물, 예컨대 5% 수소/아르곤 기체 혼합물)의 공급원을 함유하는 기체 환경에 소정의 시간(예를 들어, 약 10초 내지 약 1시간, 약 1분 내지 약 30분, 약 5분 내지 약 15분) 동안 노출시킴으로써 형성될 수 있다. 이는 상승된 온도(예를 들어, 약 450°C 내지 약 1,100°C, 약 600°C 내지 약 900°C, 850°C의 온도)에서 수행할 수 있다. 수소(또는 수소/불활성 기체 혼합물)의 압력은 비교적 낮거나(예를 들어, 약 1 Torr 미만, 약 1×10<sup>-3</sup> Torr 미만, 약 1×10<sup>-6</sup> Torr 미만), 또는 비교적 높을 수 있다(예를 들어, 약 1 Torr 이상, 약 100 Torr 이상, 약 760 Torr 이상).
- [0092] 이론에 결부되는 것을 원치 않지만, 상기 조건 하에서 집합조직화된 기판 표면을 황 공급원에 노출시키게 되면

상기 집합조직화된 기판 표면 위에 황의 초구조물(superstructure)(예를 들어, a c(2×2) 초구조물)이 형성될 수 있다고 판단된다. 또한 상기 초구조물은 중간층의 표면을 안정화(예를 들어, 화학적 및/또는 물리적 안정화)시키는데 효과적일 수 있다고도 판단된다.

[0093] 황의 초구조물을 형성하기 위한 하나의 접근법에 대해 설명하였으나, 상기 초구조물을 형성하기 위해서는 다른 방법도 사용할 수 있다. 예를 들어, 황의 초구조물(예를 들어, S c(2×2))은 적절한 기체 환경에서 적절한 온도로 가열시켜 적절한 유기 용액을 중간층의 표면에 적용함으로써 형성될 수 있다. 또한 중간층의 표면 위에 황의 초구조물을 형성하는 것에 대해 설명하였으나, 다른 초구조물이 또한 상기 표면을 안정화(예를 들어, 화학적 및/또는 물리적 안정화)시키는데 효과적일 수 있다고 판단된다. 예를 들어, 표면 위에 배치된 산소 초구조물, 질소 초구조물, 탄소 초구조물, 칼륨 초구조물, 세슘 초구조물, 리튬 초구조물 또는 셀레늄 초구조물이 상기 표면의 안정화를 향상시키는 데 효과적일 수 있다고 판단된다.

[0094] 제 2 공정 스테이션(920)에서, 완충층은 집합조직 금속 표면 위의 에피택셜 성장에 의해 집합조직 기판 위에 형성된다. 다르게는, 완충층은 이온 빔 보조 증착법(IBAD)을 사용하여 무작위적으로 집합조직화된 다결정 금속 표면 위에 형성될 수 있다. 이러한 기술에서, 예를 들어, 증발된 완충층 물질이 증착되는 기판의 평활한 비정질 표면으로 이온 빔(예를 들어 아르곤 이온 빔)이 향하는 동안 전자 빔 증착법, 스퍼터링 증착법 또는 펄스 레이저 증착법을 사용하여 완충층 물질을 증발시킨다.

[0095] 예를 들어, 암염과 같은 구조를 갖는 완충층 물질(예를 들어, 암염 구조를 가지는 물질, 이를 테면 MgO를 포함하는 산화물 또는 질화물)을 증발시키고, 기판의 평활한 비정질 표면(예를 들면, 약 100 Å 미만의 제곱 평균 거칠기를 갖는 표면) 위에 이온 빔 보조 증착법에 의해 형성하여, 상기 완충층 물질이 평면 내부 및 평면 외부 모두에 실질적으로 정렬된(약 13° 이하) 표면을 갖도록 완충층을 형성할 수 있다.

[0096] 완충층 물질을 증착하는 동안 사용되는 조건은, 예를 들어, 약 0°C 내지 약 750°C(예를 들어, 약 0°C 내지 약 400°C, 약 실온 내지 약 750°C, 약 실온 내지 약 400°C)의 기판 온도, 약 1.0 Å/s 내지 약 4.4 Å/s의 증착 속도, 약 200 eV 내지 약 1,200 eV의 이온 에너지 및/또는 약 110 μA/cm<sup>2</sup> 내지 약 120 μA/cm<sup>2</sup>의 이온 플럭스를 포함할 수 있다.

[0097] 일부 구체예에서, IBAD를 사용하는 경우, 기판은 상이한 물질(예를 들어, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)로 이루어진 평활한 비정질 표면을 가진 다결정의 비-무정형 베이스 구조(예를 들어, 니켈 합금과 같은 금속 합금)를 가진 물질로 형성된다.

[0098] 특정 구체예에서, 복수개의 완충층은 원래의 IBAD 표면 위에서의 에피택셜 성장에 의해 증착시킬 수 있다. 각각의 완충층은 평면 내 및 평면 외 모두에서 실질적인 정렬(예를 들어, 약 13° 이하)을 가질 수 있다.

[0099] 완충 물질은 예를 들어 문헌[S.S. Shoup et al., J. Am. Cer. Soc., vol. 81, 3019; D. Beach et al., Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol. 495, 263 (1988); M. Paranthaman et al., Superconductor Sci. Tech., vol. 12, 319 (1999); D.J. Lee et al., Japanese J. Appl. Phys., vol. 38, L178 (1999) 및 M.W. Rupich et al., I.E.E.E. Trans. on Appl. Supercon. vol. 9, 1527]에 개시되어 있는 바와 같은 금속유기 증착법을 비롯한 용액 상 기술을 사용하여 제조할 수 있다. 특정 구체예에서, 용액 코팅 공정은 집합조직화된 기판 위에 산화물 증중 임의의 하나 또는 그의 조합의 에피택셜 증착을 위해 사용할 수 있으나; 상기 용액 코팅 공정은 집합조직화된 금속 기판 위에 초기(시드(seed)) 층을 증착시키는데 특히 적용가능할 수 있다. 시드층의 역할은, 1) 기판에 대하여 산화 대기에서 수행하는 경우 다음 산화물 층의 증착이 일어나는 동안 기판이 산화되는 것을 보호하고(예를 들어, 표적 산화물로부터 이트리아-안정화 지르코니아의 마그네트론 스퍼터 증착); 2) 후속 산화물층의 성장을 위한 에피택셜 템플릿을 제공하는 것에 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해, 시드층은 금속 기판 표면의 전체에 걸쳐 에피택셜적으로 성장해야 하며, 후속 에피택셜 산화물 층의 증착을 방해할 수 있는 임의의 오염물이 존재하지 않아야 한다.

[0100] 산화물 완충층의 형성은 기판 기본층의 습윤을 촉진시키고자 수행할 수 있다. 또한, 특정 구체예에서, 금속 산화물 층의 형성은 금속 알콕시화물 전구체(예를 들어, "졸-겔(sol-gel)" 전구체)를 사용하여 수행할 수 있다.

[0101] 완충층을 포함하는 집합조직 기판이 제조되면, 전구체 용액은 상술된 바와 같은 증착 스테이션(930)에서 증착된다. 임의로, 전구체는 패턴화될 수 있다. 예를 들어, 레이저 애블레이션(laser ablation) 또는 이온 포격(ion bombardment)을 사용하여 초전도층을 패턴화하는 경우에 패턴화 조작을 달성하기 위해 추가의 장비가 필요할 수 있다. 드롭와이즈(dropwise) 패턴화 증착법이 사용되면, 잉크젯 프린터 증착 장치가 구비된 단일 스테이션은 산화물 전구체 용액의 증착 및 패턴화 둘 다를 달성할 수 있다.

- [0102] 전형적으로, 용액 화학을 사용하여 불소화바륨 및/또는 다른 초전도체 전구체를 제조하며; 용액(예를 들어, 금속염, 이를테면 아세트산 이트륨, 아세트산 구리, 아세트산 바륨 및/또는 바륨의 불소화 아세트산 염)은 표면 위에(예를 들어, 그 위에 증착된 하나 이상의 완충층과 핵금 층을 가진 기판과 같은 기판의 표면 위에) 증착된다. 이 용액은 표준 기술(예를 들어, 스판 코팅, 딥 코팅, 슬롯 코팅)을 사용하여 표면 위에 배치될 수 있다. 이 용액을 건조시켜 용액중 존재하는 적어도 일부의 유기 화합물을 제거하고(예를 들어, 약 실온에서 또는 온화한 가열하에 건조), 생성된 물질을 산소 및 물을 함유하는 기체 환경하에 노(furnace)에서 반응시켜(예를 들어 분해시켜) 불소화바륨 및/또는 다른 적절한 물질(예를 들어, CuO 및/또는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 형성한다. 일부 구체예에서, 상술한 반응기는 이들 단계 중 어느 단계 또는 모든 단계에 사용될 수 있다.
- [0103] 생성된 초전도체 층에 요구되는 적절한 비율로 금속원을 사용하여 금속 염 용액이 제조된다. 따라서, 예를 들어, YBCO에 사용되는 화학양론적 비율의 과량으로 추가량의 구리 염이, 과량의 구리를 가진 고 Ic(ab) 초전도체 층을 제조하기 위해 사용되는 전구체 용액중에 포함된다. 유사하게, 전구체 용액은, 최종 초전도체 조성물을 변형시키는데 사용되는 가용성 및 불용성 금속 화합물을 비롯한 첨가제 성분을 함유할 수 있다. 이러한 첨가제로는 예를 들어 전구체 용액에 함유된 용매에 용해할 수 있는 금속 화합물 중 가용성 화합물, 이를테면 이트륨, 네오디뮴, 사마륨, 유로퓸, 가돌리늄, 테르븀, 디스프로슘, 홀뮴, 에르븀, 틀륨, 이테르븀 및 루테튬, 알칼리토류 금속, 이를 테면 칼슘, 망간, 철, 코발트, 지르코늄, 세륨, 은, 알루미늄 및 마그네슘이 포함될 수 있다. 첨가제 성분은 또한 전구체 용액중에 포함된 화학양론적으로 과량의 가용성 화합물을 포함할 수 있다. 예를 들어, 가용성 이트륨 염 또는 가용성 구리 염은 YBCO를 형성하는데 필요한 양보다 과량으로 전구체 용액중에 포함될 수 있다. 불용성 첨가제 성분이 또한 전구체 용액에 첨가될 수 있다.
- [0104] 사용될 수 있는 금속 염 용액의 예는 다음과 같다.
- [0105] 일부 구체예에서, 금속 염 용액은 비교적 소량의 유리 산을 가질 수 있다. 수용액에서, 이는 비교적 중성인 pH(예를 들어, 강산도 아니고 강염기도 아닌 pH)를 가진 금속 염 용액에 해당할 수 있다. 금속 염 용액은, 초전도체 층이 형성되는 하부 층으로서 사용될 수 있는 매우 다양한 금속을 사용하여 다층 초전도체를 제조하는데 사용될 수 있다.
- [0106] 금속 염 용액중 전체 유리 산 농도는 약  $1 \times 10^{-3}$  몰 미만(또는 약  $1 \times 10^{-5}$  몰 미만 또는 약  $1 \times 10^{-7}$  몰 미만)일 수 있다. 금속 염 용액에 함유될 수 있는 유리 산의 예로는 트리플루오로아세트산, 아세트산, 질산, 황산, 요오드화물의 산, 브롬화물의 산 및 황산염의 산이 포함된다.
- [0107] 금속 염 용액이 물을 함유하는 경우, 전구체 조성물은 최소 약 3(또는 최소 약 5 또는 최소 약 7)의 pH를 가질 수 있다.
- [0108] 일부 구체예에서, 금속 염 용액은 비교적 낮은 수분 함량(예를 들어, 약 50 부피% 미만의 물, 약 35 부피% 미만의 물, 또는 약 25 부피% 미만의 물)을 가질 수 있다.
- [0109] 금속 염 용액이 트리플루오로아세트산염 이온 및 알칼리 토류 금속 양이온(예를 들어, 바륨)을 함유하는 구체예에서, 트리플루오로아세트산염 이온의 총량은, 금속 염 용액 내에 함유된 불소화물(예를 들어, 트리플루오로아세트산염 형태) : 금속 염 용액 내에 함유된 알칼리 토류 금속(예를 들어, 바륨 이온)의 몰비가 최소 약 2:1(예를 들어, 약 2:1 내지 약 18.5:1, 또는 약 2:1 내지 약 10:1)이 되도록 선택될 수 있다.
- [0110] 일반적으로, 금속 염 용액은 제 1 금속(예를 들어, 구리), 제 2 금속(예를 들어, 알칼리 토류 금속) 및 희토류 금속의 가용성 화합물을 하나 이상의 목적하는 용매 및 임의로 물과 혼합함으로써 제조될 수 있다. 본원에 사용된 제 1, 제 2 및 희토류 금속의 "가용성 화합물"은 금속 염 용액중에 함유된 용매(들)에 용해할 수 있는 이들 금속의 화합물을 말한다. 이러한 화합물로는, 예를 들어 이들 금속의 염(예를 들어, 질산염, 아세트산염, 알콕시화물, 요오드화물, 황산염 및 트리플루오로아세트산염), 산화물 및 수산화물이 포함된다.
- [0111] 특정 구체예에서, 금속 염 용액은 당업자들에게 공지된 방법을 사용하여 혼합 및 반응시킨 Ba(O<sub>2</sub>CCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>(O<sub>2</sub>CCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 및 Cu(O<sub>2</sub>CCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>의 분말로부터 제조된 금속 트리플루오로아세트산염을 함유하는 유기 용액으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 금속 트리플루오로아세트산염 분말은 구리 함량 기준으로 실질적으로 0.94M 용액을 생성하도록 메틸 알콜중에서 2:1:3의 비율로 혼합될 수 있다.
- [0112] 특정 구체예에서, 금속 염 용액은 루이스 염기를 함유할 수 있다. 상기 희토류 금속은 이트륨, 란타늄, 유로퓸, 가돌리늄, 테르븀, 디스프로슘, 홀뮴, 에르븀, 틀륨, 이테르븀, 세륨, 프라세오디뮴, 네오디뮴, 프로메튬, 사마

룹 또는 루테튬일 수 있다. 일반적으로, 상기 희토류 금속염은, 상기 금속 염 용액 내에 함유된 용매(들)에 가용하며, 중간체(예컨대, 금속 옥시할라이드 중간체)를 형성하도록 처리되는 경우 희토류 산화물(들)(예를 들어,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ )을 형성하는 임의의 희토류 금속 염일 수 있다. 이러한 염은 예를 들어 일반식  $M(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{CXX}'\text{X}'')(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_m-\text{CX}''''\text{X}'''\text{X}''')$  ( $\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_p-\text{CX}'''''\text{X}'''''\text{X}''''')$  또는  $M(\text{OR})_3$ 을 가질 수 있다. 상기 M은 희토류 금속이다. 상기 n, m 및 p는 각각 최소 1이지만, 상기 염을 용매(들)에 대해 불용성이 되게 하는 수 미만의 수(예를 들어, 1 내지 10)이다. 또한 각각의 X, X', X'', X''', X''''', X''''''', X''''''' 및 X'''''''은 H, F, Cl, Br 또는 I이다. 상기 R은 탄소 함유 그룹으로서, 할로겐화될 수 있거나(예를 들어,  $\text{CH}_2\text{CF}_3$ ), 할로겐화되지 않을 수 있다. 이러한 염의 예로는 비할로겐화 카르복시산염, 할로겐화 아세트산염(예를 들어, 트리플루오로아세트산염, 트리클로로아세트산염, 트리브로모아세트산염, 트리요오도아세트산염), 할로겐화 알콕시화물 및 비할로겐화 알콕시화물이 포함된다. 상기 비할로겐화 카르복시산염의 예로는 비할로겐화 아세트산염(예를 들어,  $M(\text{O}_2\text{C}-\text{CH}_3)_3$ )이 포함된다. 상기 알칼리 토류 금속은 바륨, 스트론튬 또는 칼슘일 수 있다. 일반적으로, 상기 알칼리 토류 금속염은, 상기 금속 염 용액내에 함유된 용매(들)에 가용하며 중간체(예를 들어, 금속 옥시할라이드 중간체)를 형성하도록 처리되는 경우 알칼리 토류 산화물(들)(예를 들어, BaO)를 형성하기 전에 알칼리 토류 할라이드 화합물(예를 들어  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{BaBr}_2$ ,  $\text{BaI}_2$ )을 형성하는 임의의 알칼리 토류 금속 염일 수 있다. 이러한 염은 예를 들어 일반식  $M'(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{CXX}'\text{X}'')(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_m-\text{CX}''''\text{X}'''\text{X}''')$  또는  $M'(\text{OR})_2$ 을 가질 수 있다. 상기 M'은 알칼리 토류 금속이다. 상기 n 및 m은 각각 최소 1이지만, 상기 염을 용매(들)에 대해 불용성이 되게 하는 수 미만의 수이다(예를 들어, 1 내지 10). 상기 각각의 X, X', X'', X''', X'''' 및 X'''''는 H, F, Cl, B 또는 I이다. 상기 R은 할로겐화 또는 비할로겐화 탄소 함유 그룹일 수 있다. 이러한 염의 예로는 할로겐화 아세트산염(예를 들어, 트리플루오로아세트산염, 트리클로로아세트산염, 트리브로모아세트산염, 트리요오도아세트산염)이 포함된다. 일반적으로, 상기 전이금속은 구리이다. 상기 전이금속 염은 상기 금속 염 용액내 포함된 용매(들)에 가용해야 한다. 바람직하게는, 상기 구체가 중간체(예를 들어, 금속 옥시할라이드)로 전환되는 동안, 불연속 전이금속 분자들(예를 들어, 구리 분자) 간에 최소한의 가교가 일어난다. 이러한 전이금속 염은 예를 들어, 일반식  $M''(\text{CXX}'\text{X}'''-\text{CO}(\text{CH})_a\text{CO}-\text{CX}''''\text{X}'''\text{X}''')$  ( $\text{CX}'''''\text{X}''''\text{X}''''$ ) ( $\text{CX}'''''\text{X}''''\text{X}''''$ ) - $\text{CO}(\text{CH})_b\text{COCX}''''''$   $\text{X}''''''\text{X}''''''$  또는  $M''(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{CXX}'\text{X}'')(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_m-\text{CX}''''\text{X}'''\text{X}''')$  또는  $M''(\text{OR})_2$ 을 가질 수 있다. 상기 M''는 전이금속이다. 상기 a 및 b는 각각 최소 1이지만, 상기 염을 용매(들)에 대해 불용성이 되게 하는 수 미만의 수이다(예를 들어, 1 내지 5). 일반적으로, 상기 n 및 m은 각각 최소 1이지만, 상기 염을 용매(들)에 대해 불용성이 되게 하는 수 미만의 수이다(예를 들어, 1 내지 10). 각각의 X, X', X'', X''', X''''', X''''''', X'''''''', X''''''''' 및 X'''''''''는 H, F, Cl, Br 또는 I이다. 상기 R은 탄소 함유 그룹이고, 할로겐화되거나(예를 들어,  $\text{CH}_2\text{CF}_3$ ) 비할로겐화될 수 있다. 이를 염으로는 예를 들어 비할로겐화 아세트산염(예를 들어,  $M''(\text{O}_2\text{C}-\text{CH}_3)_2$ ), 할로겐화 아세트산염, 할로겐화 알콕시화물 및 비할로겐화 알콕시화물이 포함된다. 이러한 염의 예로는 구리 트리클로로아세트산염, 구리 트리브로모아세트산염, 구리 트리요오도아세트산염,  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COCHCOCF}_3)_2$ ,  $\text{Cu}(\text{OOCC}_7\text{H}_{15})_2$ ,  $\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOF}_3)_2$ ,  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COCHCOCH}_3)_2$ ,  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO}_2\text{CHCOCH}_3)_2$ ,  $\text{CuO}(\text{C}_5\text{H}_6\text{N})_2$  및  $\text{Cu}_3\text{O}_3\text{Ba}_2(\text{O}-\text{CH}_2\text{CF}_3)_4$ 를 들 수 있다. 특정 구체예에서, 전이금속염은 카르복시산 염(예를 들어, 비할로겐화 카르복시산 염), 이를 테면 전이금속의 프로피온산 염(예를 들어, 전이금속의 비할로겐화 프로피온산 염)이다. 전이금속의 비할로겐화 프로피온산 염의 예는  $\text{Cu}(\text{O}_2\text{CC}_2\text{H}_5)_2$ 이다. 일부 구체예에서, 전이 금속 염은 단순 염, 이를 테면 황산 구리, 질산 구리, 요오드화 구리 및/또는 옥실화 구리이다. 일부 구체예에서, 상기 n 및/또는 m은 0의 값을 가질 수 있다. 특정 구체예에서, 상기 a 및/또는 b는 0의 값을 가질 수 있다. 루이스 산의 예시적이며 비한정적인 예로는 질소-함유 화합물, 이를 테면 암모니아 및 아민이 포함된다. 아민의 예로는  $\text{CH}_3\text{CN}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$  및  $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{N}$ 이 포함된다. 각각의  $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3$ 는 독립적으로 H, 알킬 그룹(예를 들어 직쇄 알킬 그룹, 분지쇄 알킬 그룹, 지방족 알킬 그룹, 비지방족 알킬 그룹 및/또는 치환된 알킬 그룹) 등이다. 이론에 결부되는 것을 원치 않지만, 금속 염 용액 내에 루이스 염기가 존재하면 중간체를 형성하는 동안 구리의 가교결합을 감소시킬 수 있다고 판단된다. 이는 루이스 염기가 구리 이온과 배위 결합(예를 들어, 선택적 배위결합)하여 구리의 가교결합능을 감소시키기 때문에 달성되는 것이라 판단된다.

[0113] 전형적으로, 금속 염 용액을 스판 코팅, 딥 코팅, 웹 코팅, 슬롯 코팅, 그라비아 코팅 또는 당업자들에게 공지된 다른 기술에 의해 표면(예를 들어, 완충층 표면)에 적용한 다음 가열한다.

- [0114] 후속 스테이션(940)에서, 전구체 성분이 분해된다. 적어도 하나의 불소화물-함유 염을 포함하는 전구체 성분의 경우, 가열 단계의 제 1 단계를 수행하여 금속유기 분자를 목적하는 초전도체 물질의 하나 이상의 옥시플루오라이드 중간체로 분해시킨다.
- [0115] 전형적으로, 이 단계의 초기 온도는 대략 실온이며, 최종 온도는 약 190°C 내지 약 210°C, 바람직하게는 약 200°C이다. 바람직하게는, 이 단계는 분당 최소 약 5°C의 온도 램프, 더 바람직하게는 분당 최소 약 10°C의 온도 램프, 가장 바람직하게는 분당 최소 약 15°C의 온도 램프를 사용하여 수행된다. 이 단계를 수행하는 동안, 공칭 기체(nominal gas) 환경에서 수증기의 부분압은 약 5 Torr 내지 약 50 Torr에서 유지시키는 것이 바람직하며, 더 바람직하게는 약 5 Torr 내지 약 30 Torr, 가장 바람직하게는 약 20 Torr 내지 약 30 Torr에서 유지시킨다. 공칭 기체 환경에서의 산소의 부분압은 약 0.1 Torr 내지 약 760 Torr, 바람직하게는 약 730 Torr-740 Torr에서 유지시킨다.
- [0116] 그 후, 분당 약 0.05°C 내지 분당 약 5°C(예를 들어, 분당 약 0.5°C 내지 분당 약 1°C)의 온도 램프를 사용하여 약 200°C 내지 약 290°C의 온도로 계속 가열한다. 바람직하게는, 상기 가열 단계를 수행하는 동안 기체 환경은, 샘플을 초기 온도에서 약 190°C 내지 약 215°C로 가열시킬 때 사용되는 공칭 기체 환경과 실질적으로 동일하다.
- [0117] 또한, 약 650°C, 또는 바람직하게는 약 400°C의 온도로 계속 가열하여 옥시플루오라이드 중간체를 형성한다. 이 단계는 바람직하게는 분당 최소 약 2°C의 온도 램프, 더 바람직하게는 분당 최소 약 3°C의 온도 램프, 가장 바람직하게는 분당 최소 약 5°C의 온도 램프를 사용하여 수행한다. 바람직하게는, 이 가열 단계를 수행하는 동안 기체 환경은, 샘플을 초기 온도에서 약 190°C 내지 약 215°C로 가열시킬 때 사용되는 공칭 기체 환경과 실질적으로 동일하다.
- [0118] 다른 구체예에서, 불소화바륨은 건조된 용액을 약 5 Torr 내지 약 50 Torr의 수증기압(예를 들어, 약 5 Torr 내지 약 30 Torr의 수증기압, 또는 약 10 Torr 내지 약 25 Torr의 수증기압)에서 초기 온도(예를 들어, 실온)에서 약 190°C 내지 약 215°C의 온도(예를 들어, 약 210°C)로 가열시킴으로써 형성된다. 산소의 공칭 부분압은 예를 들어 약 0.1 Torr 내지 약 760 Torr일 수 있다. 이를 구체예에서, 그후 약 5 Torr 내지 약 50 Torr의 수증기압(예를 들어, 약 5 Torr 내지 약 30 Torr의 수증기압, 또는 약 10 Torr 내지 약 25 Torr의 수증기압)에서 약 220°C 내지 약 290°C(예를 들어, 약 220°C)의 온도로 계속 가열시킨다. 산소의 공칭 부분압은, 예를 들어, 약 0.1 Torr 내지 약 760 Torr일 수 있다. 이 후, 약 5 Torr 내지 약 50 Torr의 수증기압(예를 들어, 약 5 Torr 내지 약 30 Torr의 수증기압, 또는 약 10 Torr 내지 약 25 Torr의 수증기압)에서 분당 최소 약 2°C(예를 들어 분당 최소 약 3°C, 또는 분당 최소 약 5°C)의 속도로 약 400°C로 가열하여 불소화바륨을 형성한다. 산소의 공칭 부분압은 예를 들어 약 0.1 Torr 내지 약 760 Torr일 수 있다.
- [0119] 특정 구체예에서, 불소화바륨을 형성하기 위해 건조된 용액을 가열시키는 단계는 예열된 노(예를 들어, 최소 약 100°C, 최소 약 150°C, 최소 약 200°C, 최대 약 300°C, 최대 약 250°C, 약 200°C의 온도)에 코팅된 시료를 두는 단계를 포함한다. 노안의 기체 환경은 예를 들어, 수증기의 소정 부분압(예를 들어, 최소 약 10 Torr, 최소 15 Torr, 최대 약 25 Torr, 최대 약 20 Torr, 약 17 Torr)과 나머지는 분자 산소인 약 760 Torr의 총 기체압을 가질 수 있다. 코팅된 샘플이 노 온도에 도달한 후, 노의 온도는 소정의 온도 램프 속도(예를 들어, 분당 최소 약 0.5°C, 분당 최소 약 0.75°C, 분당 최대 약 2°C, 분당 최대 약 1.5°C, 분당 약 1°C)로 (최소 약 225°C, 최소 약 240°C, 최대 약 275°C, 최대 약 260°C, 약 250°C로) 상승시킬 수 있다. 이 단계는 제 1 가열 단계에서 사용된 것과 동일한 공칭 기체 환경을 사용하여 수행할 수 있다. 그 후, 노의 온도를 소정의 온도 램프 속도(예를 들어, 분당 최소 약 5°C, 분당 최소 약 8°C, 분당 최대 약 20°C, 분당 최소 약 12°C, 분당 약 10°C)로 (최소 약 350°C, 최소 약 375°C, 최대 약 450°C, 최대 약 425°C, 약 450°C) 더 상승시킬 수 있다. 이 단계는 제 1 가열 단계에서 사용된 것과 동일한 공칭 기체 환경을 사용하여 수행할 수 있다.
- [0120] 전술한 바와 같이 금속 염 용액을 처리하면 옥시플루오라이드 중간체 막이 형성될 수 있으며, 여기서 금속 산화물 및 금속 불소화물 성분은 막 전체에 걸쳐 균일하게 분포된다. 전구체가 비교적 낮은 결합 밀도를 가지며, 본질적으로 중간 두께 부분을 통하는 크랙이 없는 것이 바람직하다. 불소화바륨을 형성하기 위한 용액 화학은 개시되어 있지만, 다른 방법이 또한 다른 전구체 용액에 사용될 수 있다.
- [0121] 그 후, 추가의 처리 스테이션(1050)에서 초전도체 중간층 막을 가열하여 목적하는 HTS 층을 형성할 수 있다. 전형적으로, 이 단계는 분당 약 25°C 이상의 온도 램프, 바람직하게는 분당 약 100°C 이상의 온도 램프 속도, 더 옥 바람직하게는 분당 약 200°C 이상의 온도 램프 속도로 약 실온에서 약 700°C 내지 약 825°C의 온도로, 바람직하게는 약 740°C 내지 800°C의 온도로, 더욱 바람직하게는 약 750°C 내지 약 790°C의 온도로 가열함으로써 수행된다. 이 단계는 또한 중간체 옥시플루오라이드 막을 형성하는데 사용되는 약 400-650°C의 최종 온도로부터

출발할 수 있다. 이 단계를 수행하는 동안, 막 표면 위로 공정 기체를 흘려보내 막에 기체성 반응물을 공급하고 막으로부터 기체성 반응 생성물을 제거한다. 이 단계를 수행하는 동안 공청 기체 환경의 총 압력은 약 0.1 Torr 내지 약 760 Torr이며, 이것은 약 0.09 Torr 내지 약 50 Torr의 산소, 약 0.01 Torr 내지 약 150 Torr의 수증기 및 약 0 Torr 내지 약 750 Torr의 불활성 기체(질소 또는 아르곤)로 이루어진다. 더욱 바람직하게는, 공청 기체 환경의 총 압력은 약 0.15 Torr 내지 약 5 Torr이며, 약 0.1 Torr 내지 약 1 Torr의 산소 및 약 0.05 Torr 내지 약 4 Torr의 수증기로 이루어진다.

[0122] 그 후, 막은 최소 약 5분 내지 약 120분 동안, 바람직하게는 최소 약 15분 내지 약 60분 동안, 더욱 바람직하게는 최소 약 15분 내지 약 30분 동안, 약 700°C~825°C, 바람직하게는 약 740°C 내지 약 800°C, 더욱 바람직하게는 약 750°C 내지 약 790°C의 온도로 유지시킨다. 이 단계를 수행하는 동안, 막 표면 위로 공정 기체를 흘려보내 막에 기체성 반응물을 공급하고 막으로부터 기체성 반응 생성물을 제거한다. 이 단계를 수행하는 동안 공청 기체 환경의 총 압력은 약 0.1 Torr 내지 약 760 Torr이며, 이것은 약 0.09 Torr 내지 약 50 Torr의 산소, 약 0.01 Torr 내지 약 150 Torr의 수증기 및 약 0 Torr 내지 약 750 Torr의 불활성 기체(질소 또는 아르곤)로 이루어진다. 더욱 바람직하게는, 공청 기체 환경의 총 압력은 약 0.15 Torr 내지 약 5 Torr이며, 약 0.1 Torr 내지 약 1 Torr의 산소 및 약 0.05 Torr 내지 약 4 Torr의 수증기로 이루어진다.

[0123] 그 후, 막은 약 0.05 Torr 내지 약 150 Torr, 바람직하게는 약 0.1 Torr 내지 약 0.5 Torr, 더 바람직하게는 약 0.1 Torr 내지 약 0.2 Torr의 산소압을 가지는 공청 기체 환경에서 실온으로 냉각시킨다.

[0124] 임의로, 공지된 공정에 의하거나 2004년 9월 29일자로 출원된 미국 특허출원 제10/955,801호에 개시된 공정에 의해 스테이션(1060)에서 필라멘트화가 수행될 수 있다. 추가로 스테이션(1070)에서 귀금속 증착에 의해 처리하고, 스테이션(1080)에서 산소 어닐링하며, 스테이션(1090)에서 슬릿팅하여 공정을 완료한다.

### 실시예

[0125] 실시예 1. 상이한 조성을 가진 이중 코팅된 초전도 층으로부터 다층 전도체의 제조

[0126] 약 0.85 그램의  $\text{Y}(\text{CF}_3\text{CO}_2)_3$ , 약 1.45 그램의  $\text{Ba}(\text{CF}_3\text{CO}_2)_2$  및 약 1.35 그램의  $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2)_2$ 를 약 4.85 mL의 메탄올( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) 및 약 0.15 mL의 프로피온산( $\text{C}_2\text{H}_6\text{CO}_2$ )에 용해시켜 Y:Ba:Cu 1:2:3.23의 화학양론을 가진 YBCO 전구체 기준 용액을 제조하였다. 메탄올을 사용하여 용액의 최종 부피를 약 5 mL로 조정하였다.

[0127] 약 1.70 그램의  $\text{Dy}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$  및 약 1.90 mL의 메탄올( $\text{CH}_3\text{OH}$ )을 약 20 mL의 상기 기준 용액에 용해시켜 Y:Dy:Ba:Cu 1:0.5:2:3.23의 화학양론을 가진 50% 디스프로슘이 첨가된 YBCO 전구체 기준 용액을 제조하였다. 상기 기준 용액을 사용하여 용액의 최종 부피를 약 25 mL로 조정하였다.

[0128] 1.24g의  $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2)_2$  분말을 4.85 mL의 메탄올 및 0.15 mL의  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}$ 에 용해시켜 1.2M  $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2)_2$  용액을 제조하였다.

[0129] Ni(5 원자%) $\text{W}/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{YSZ}/\text{CeO}_2$  구조를 가진 이축 집합조직 산화물 완충 금속성 기판 위에 슬롯 다이 코팅 기술(slot die coating technique)에 의해 50% Dy 첨가 전구체 용액을 증착하였다. 이 용액을 두께 0.8  $\mu\text{m}$ 의  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\text{x}}$  막을 형성하도록 표적된 양으로 완충 기판 위에 코팅하였다.

[0130] 코팅 샘플을 직경 2.25"의 환상로(tube furnace)에서 전체 기체 압력이 약 760 Torr(약 24 Torr의 수증기 압력 및 나머지 산소 압력)인 유동 기체 환경하에 분당 약 15°C의 속도로 실온으로부터 약 200°C로, 이어 분당 약 0.9°C의 속도로 약 200°C로부터 약 250°C로, 이어 분당 약 5°C의 속도로 약 250°C로부터 약 400°C로 가열함으로써 중간체 금속 옥시플루오라이드 막으로 분해하였다.

[0131] 이어, 금속 옥시플루오라이드 막을 표적 두께 0.1  $\mu\text{m}$ 가 되도록  $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2)_2$  용액으로 코팅하였다. 코팅 막을 가열 터널을 통해 95°C에서 건조시켰다. 그 후, 건조된 막을 최종의 표적 두께가 0.6  $\mu\text{m}$ 인  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 가 되도록 앞서 언급된 바와 같이 제조된 기준 용액을 사용하여 다시 코팅하였다.

[0132]  $\text{H}_2\text{O}$  증기 압을 약 6.5 Torr로 억제한 것을 제외하고는 앞서 언급된 것과 동일한 공정에 의해, 코팅된 테이프를 다시 분해하여 중간층 금속 옥시플루오라이드를 형성하였다.

[0133] 분해된 테이프를 가열처리하여 산화물 초전도체를 형성하였다. 이 테이프를, 반응 동안 균일하고 제어된 환경을 확립하기 위해 정면 및 후면 모두에 유사하게 코팅된 NiW 리더(leader) 테이프 4 mm와 결합하였다. 그 후, 이 테

이프를 하기 파라미터를 가지고 785°C에서 반응시켰다. 상기 테이프를 약 520°C/분의 평균 램프 속도로 785°C 까지 램프하였다. 반응하는 동안, 전체 압력은 반응내내 약 1 Torr로 제한하였다. H<sub>2</sub>O 부분압은 약 800 mTorr이었고, 산소 부분압은 약 200 mTorr이었다. 반응 시간은 약 11분이었다. 냉각하는 동안, 약 200 mTorr의 산소 부분압 및 약 800 mTorr의 N<sub>2</sub> 부분압으로 이루어진 전체 압력 약 1 Torr을 사용하였다.

[0134] 반응된 막의 양 측면을 3 μm의 Ag 보호층으로 코팅한 다음, 760 Torr 산소 환경하에 어닐링하였다. 생성된 막은 77K(자기 장)에서 약 2.5MA/cm<sup>2</sup>의 임계 전류 밀도 또는 약 350A/cm<sup>2</sup>-폭의 임계전류를 운반하였다.

[0135] 명목상으로 4 m 길이의 폭 4 cm의 Ag 코팅 테이프를 롤 슬릿터(roll slitter)를 사용하여 폭 4.1 mm의 스트립 8 개로 슬릿팅하였다. 이들 와이어는 "인서트 와이어"로서 언급된다. 이어, 폭 4 cm 스트립의 일면으로부터 두 개의 인접한 인서트 와이어, 채널 1 및 2를 구리 박판(lamina)과 함께 솔더 적층하였다.

[0136] 초전도 충을 덮는 Ag 면이 서로 등지도록 두 개의 인서트 와이어를 배향시켰다. 이러한 배향은 NiW 기판 가까이에 Ag 면을 가진 표면을 함께 위치시킨다. 연속적인 릴투릴 솔더 적층을 사용하여 4-겹 물품을 형성하였다. 225 °C 및 4 m/분에서 작동하는 융점 179°C을 가진 36Pb-62Sn-2Ag 솔더 욕조를 사용하여 적층 공정에 의해 두 개의 인서트 와이어에 두 개의 구리 박판을 결합하였다. UNS 형태 C15500 구리 박판은 폭이 4.3 mm이었고 명목상 두께는 0.050 mm이었다. 인서트 와이어는 폭이 4.1 mm이었고 명목상 두께는 0.083 mm이었다. 4 개의 박판 각각의 양 표면은 적층 공정에서 다이를 통해 정렬되고 폴링되기 전에 솔더에 일렬로 폴리스되고 습윤된다. 최종 4-겹 물품은 명목상 폭이 4.3 mm, 두께가 0.27 mm이었다. 0.5 m 단편(총 2 m)에서 측정된 77K(자기 장)에서의 임계 전류는 각각 237, 240, 239 및 235 암페어였다.

#### 0137] 인용된 참고 문헌

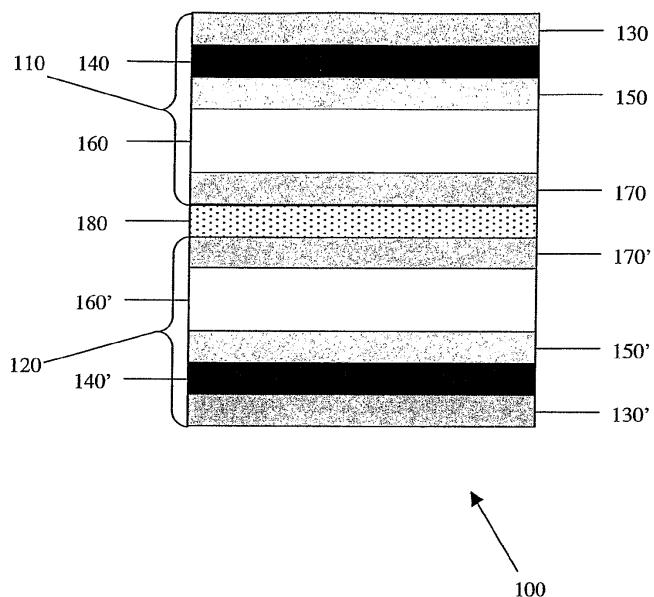
[0138] 하기 문헌들이 본원에 참고로 인용되어 있다: 1993년 7월 27일 등록된 미국 특허 제5,231,074호(발명의 명칭 "Preparation of Highly Textured Oxide Superconducting Films from MOD Precursor Solutions"); 2000년 2월 8일 등록된 미국 특허 제6,022,832호(발명의 명칭 "Low Vacuum Process for Producing Superconductor Articles with Epitaxial Layers"); 2000년 2월 22일 등록된 미국 특허 제6,027,564호(발명의 명칭 "Low Vacuum Process for Producing Epitaxial Layers"); 2001년 2월 20일 등록된 미국 특허 제6,190,752호(발명의 명칭 "Thin Films Having Rock-Salt-Like Structure Deposited on Amorphous Surfaces"); 2000년 10월 5일 공개된 PCT 공보 제WO 00/58530호(발명의 명칭 "Alloy Materials"); 2000년 10월 5일 공개된 PCT 공보 제WO/58044호(발명의 명칭 "Alloy Materials"); 1999년 4월 8일 공개된 PCT 공보 제WO 99/17307호(발명의 명칭 "Substrates with Improved Oxidation Resistance"); 1999년 4월 8일 공개된 PCT 공보 제WO 99/16941호(발명의 명칭 "Substrates for Superconductors"); 1998년 12월 23일 공개된 PCT 공보 제WO 98/58415호(발명의 명칭 "Controlled Conversion of Metal Oxyfluorides into Superconducting Oxides"); 2001년 2월 15일 공개된 PCT 공보 제WO 01/11428호(발명의 명칭 "Multi-Layer Articles and Methods of Making Same"); 2001년 2월 1일 공개된 PCT 공보 제WO 01/08232호(발명의 명칭 "Multi-Layer Articles And Methods Of Making Same"); 2001년 2 월 1일 공개된 PCT 공보 제WO 01/08235호(발명의 명칭 "Methods And Compositions For Making A Multi-Layer Article"); 2001년 2월 1일 공개된 PCT 공보 제WO 01/08236호(발명의 명칭 "Coated Conductor Thick Film Precursor"); 2001년 2월 1일 공개된 PCT 공보 제WO 01/08169호(발명의 명칭 "Coated Conductors With Reduced A. C. Loss"); 2001년 3월 1일 공개된 PCT 공보 제WO 01/15245호(발명의 명칭 "Surface Control Alloy Substrates And Methods Of Manufacture Therefor"); 2001년 2월 1일 공개된 PCT 공보 제WO 01/08170호(발명의 명칭 "Enhanced Purity Oxide Layer Formation"); 2001년 4월 12일 공개된 PCT 공보 제WO 01/26164호(발명의 명칭 "Control of Oxide Layer Reaction Rates"); 2001년 4월 12일 공개된 PCT 공보 제WO 01/26165호(발명의 명칭 "Oxide Layer Method"); 2001년 2월 1일 공개된 PCT 공보 제WO 01/08233호(발명의 명칭 "Enhanced High Temperature Coated Superconductors"); 2001년 2월 1일 공개된 PCT 공보 제WO 01/08231호(발명의 명칭 "Methods of Making A Superconductor"); 2002년 4월 20일 공개된 PCT 공보 제WO 02/35615호(발명의 명칭 "Precursor Solutions and Methods of Using Same"); 2000년 5월 26일 출원된 미국 특허출원 제09/579,193호(발명의 명칭 "Oxide Bronze Compositions And Textured Articles Manufactured In Accordance Therewith"); 2001년 7월 31일 출원된 미국 특허출원 제 60/309,116호(발명의 명칭 "Multi-Layer Superconductors And Methods Of Making Same"); 2002년 7월 30일 출원된 미국 특허출원 제10/208,134호(발명의 명칭 "Superconductor Methods and Reactor"); 2001년 7월 31일 출원된 미국 특허출원 제60/308,957호(발명의 명칭 "Superconductor Methods and Reactors"); 1999년 11월 18일 출원된 미국 특허출원 제60/166,297호(발명의 명칭 "Superconductor Articles and Compositions and Methods for Making Same"); 및 2000년 7월 14일 출

원된 공동 소유 미국 특허출원 제09/615,999호(발명의 명칭 "Superconductor Articles and Compositions and Methods for Making Same"); 및 2003년 6월 10일 출원된 미국 가특허출원 제60/477,613호(발명의 명칭 "superconductor Methods and Reactors;" 및 2004년 6월 4일 출원된 미국 실용신안등록출원 제10/858,309호(발명의 명칭 "superconductor Methods and Reactors") 및

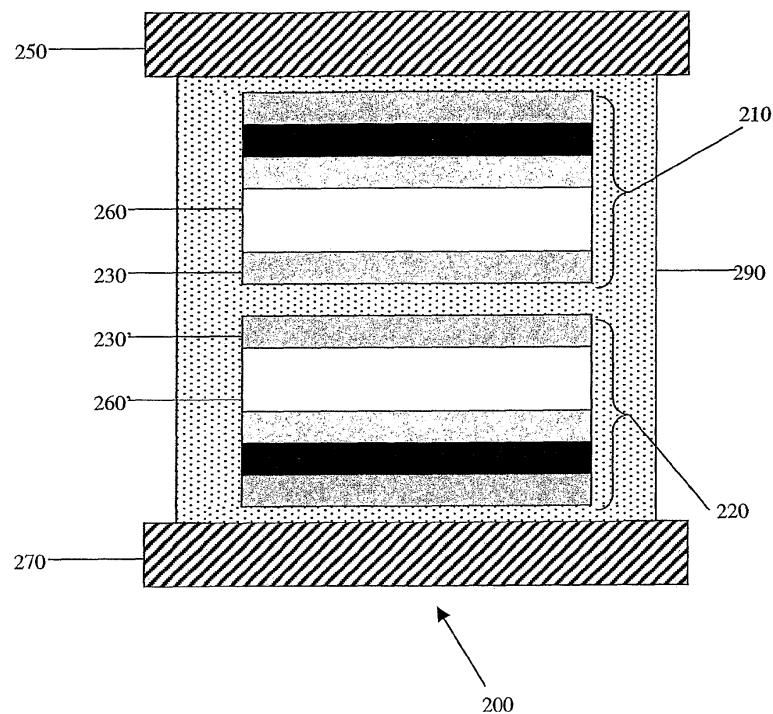
[0139] 2004년 9월 29일 출원된 미국 특허출원 제10/955,875호(발명의 명칭 "Low AC Loss Filamentary Coated Superconductors") 및 2004년 9월 29일 출원된 미국 특허출원 제10/955,801호(발명의 명칭 "Stacked Filamentary Superconductors") 및 2005년 3월 31일 출원된 미국 가특허출원 제60/667,001호(발명의 명칭 "Mesh-Type Stabilizer for Filamentary Coated Superconductors;" 및 본원과 동일자로 출원된 미국 특허출원(출원번호 미정)(발명의 명칭 "High Temperature Superconducting Wires and Coils")(상기 문현들은 모두 본원에 참고로 인용된다).

## 도면

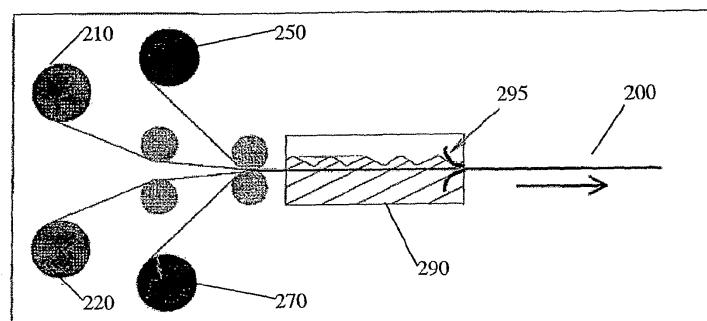
### 도면1



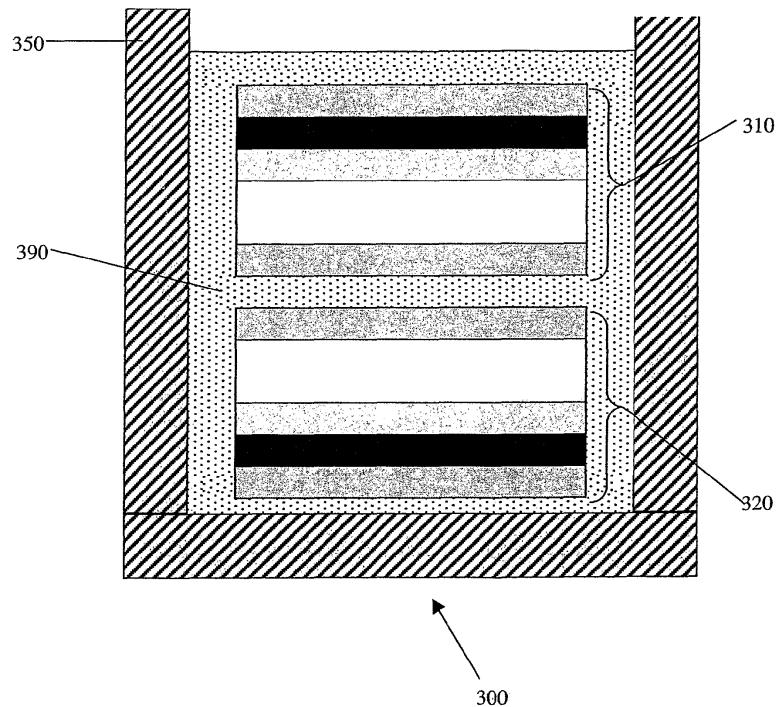
도면2A



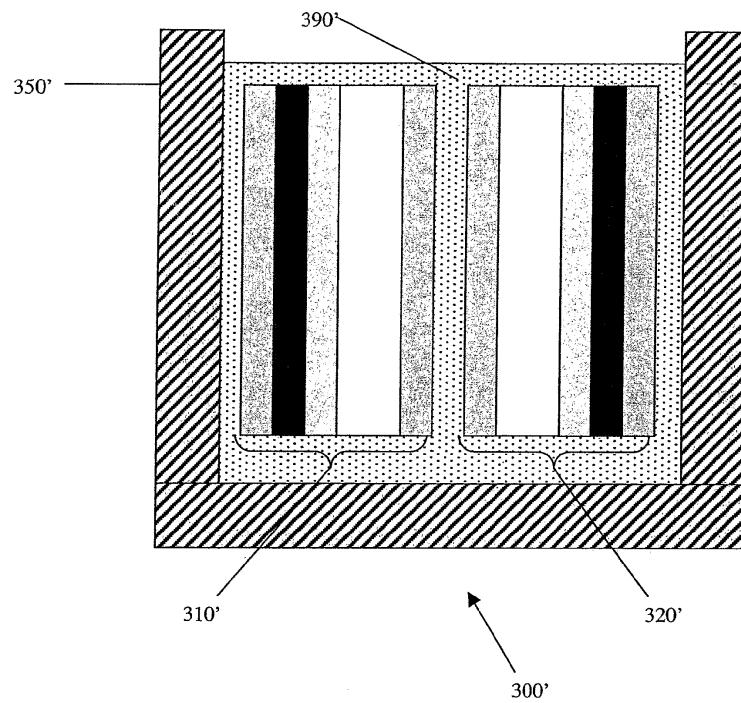
도면2B



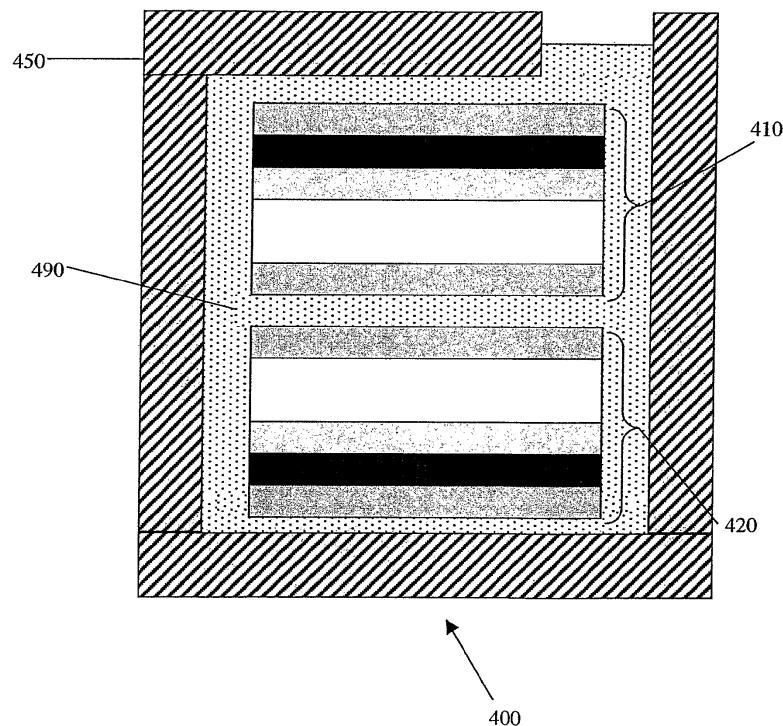
도면3A



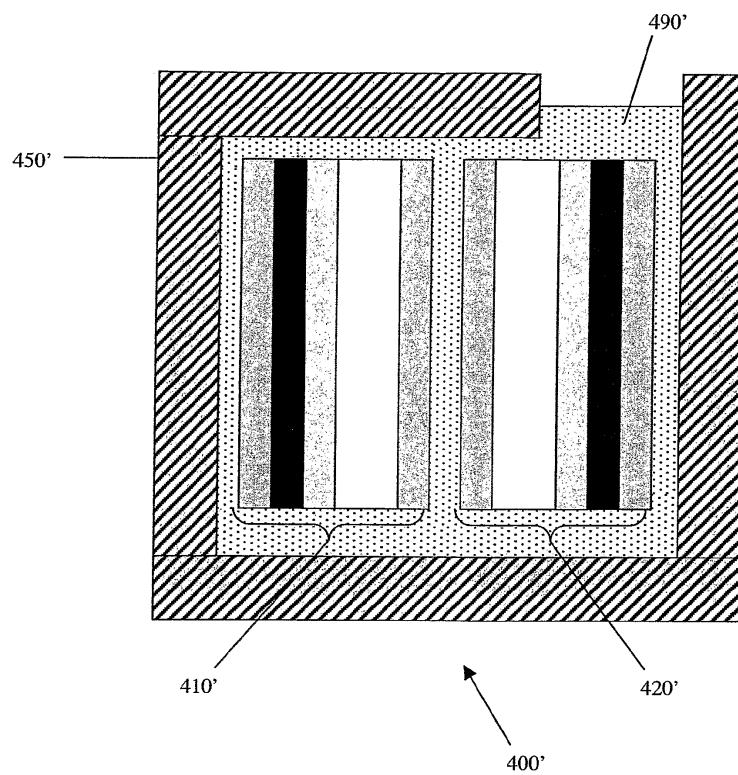
도면3B



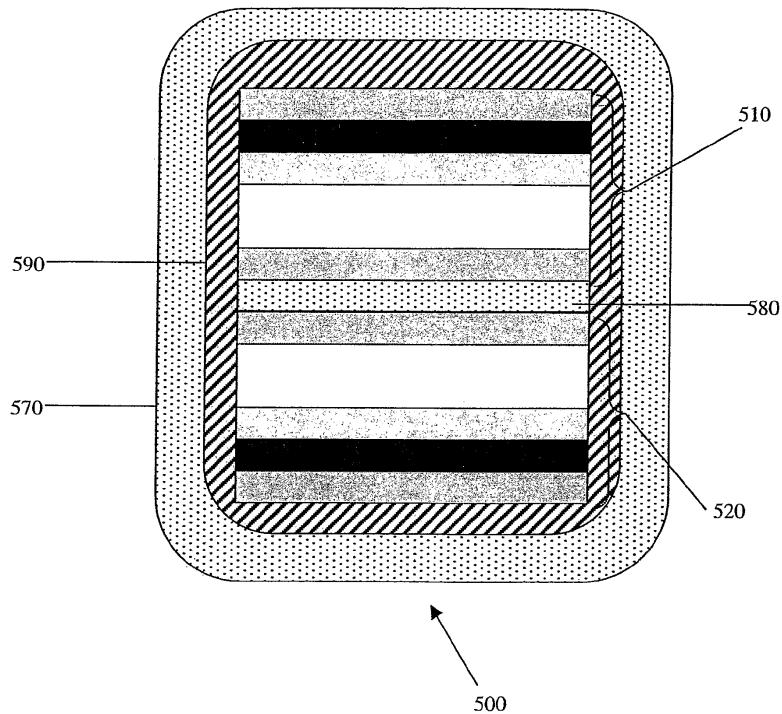
도면4A



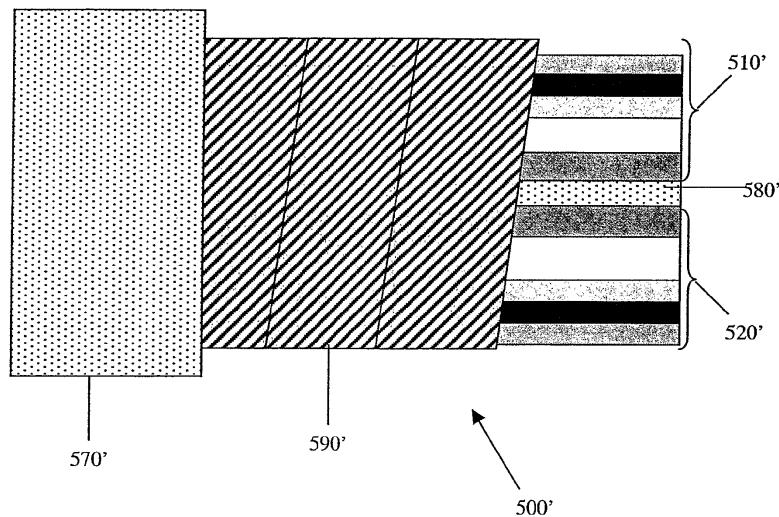
도면4B



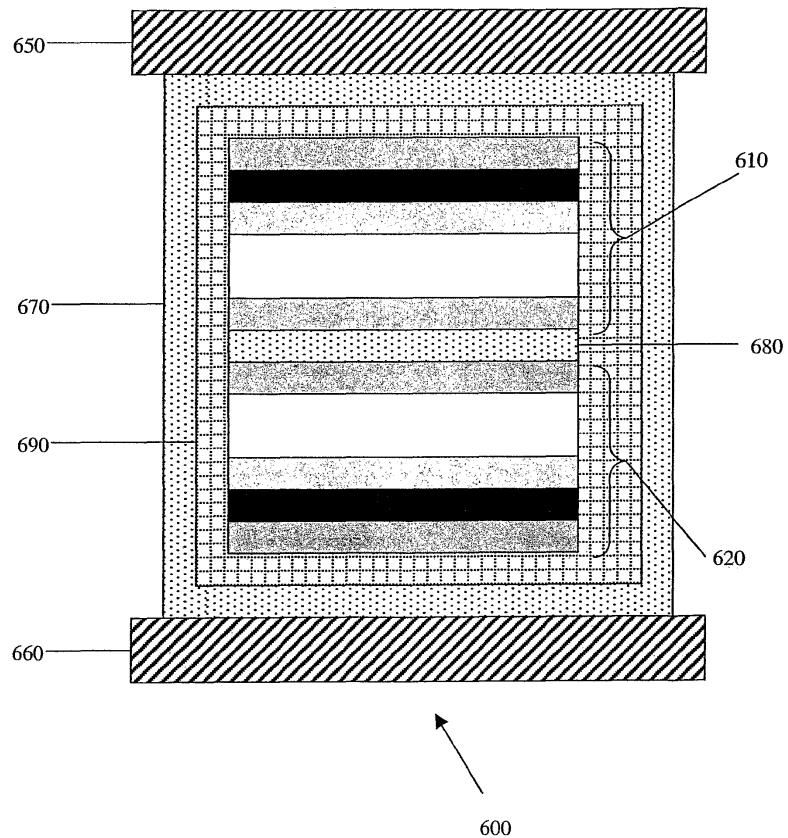
도면5A



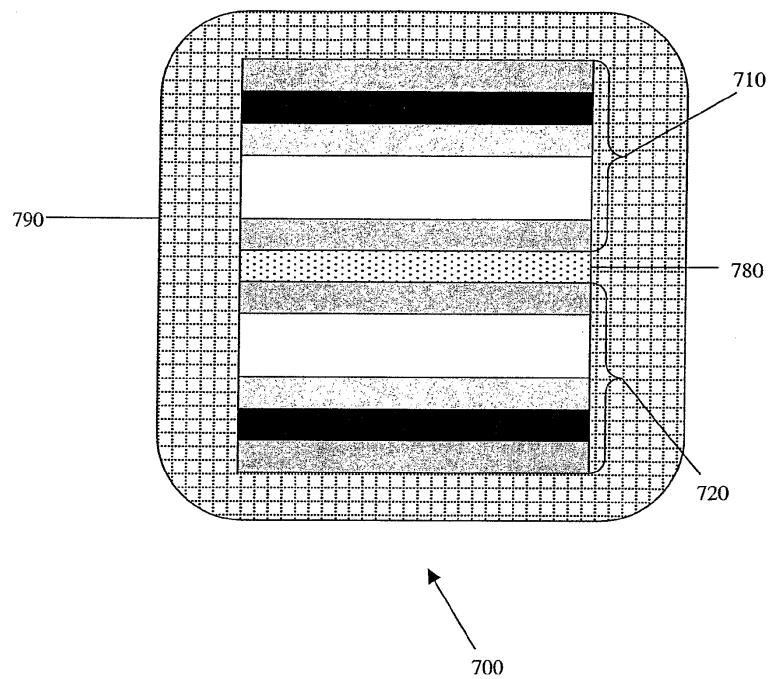
도면5B



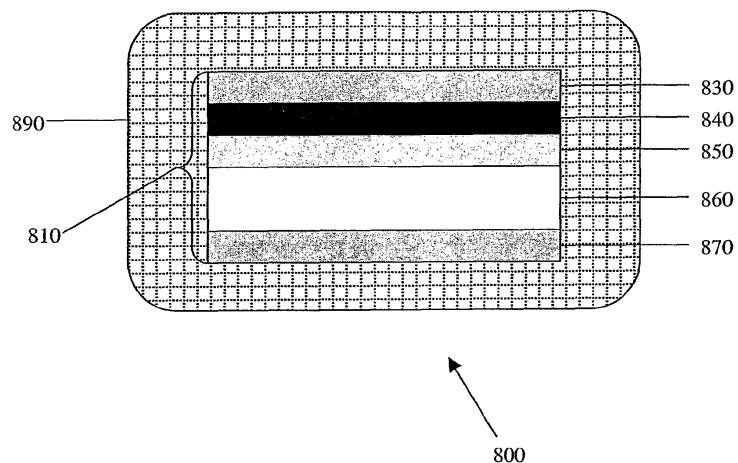
도면6



도면7



도면8



도면9

