(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2007년10월31일
(11) 등록번호 10-0772014
(24) 등록일자 2007년10월25일

(51) Int. Cl.
C23C 14/46(2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-0066090
(22) 출원일자 2006년07월14일
심사청구일자 2006년07월14일
(56) 선행기술조사문헌
JP02019455 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
한국전기연구원
경남 창원시 성주동 28-1
(72) 발명자
오상수
경상남도 창원시 남양동 성원2차아파트 207동 1403호
김호섭
경상남도 김해시 장유면 젤미마을 부영E그린타운 701동 1802호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인부경

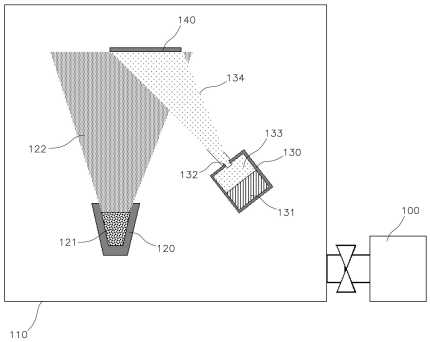
전체 청구항 수 : 총 28 항 심사관 : 이근희

(54) 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법,제조장치, 이 방법에 의해 제조되는 고온 초전도막

(57) 요 약

본 발명은 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막에 관한 것으로, 진공 챔버내에서 증발법에 의해 고온초전도막을 형성시키는 고온 초전도막 제조방법에 있어서, 고온초전도체 재료물질을 증발시켜 고온초전도체 물질을 증기 상태로 기판에 증착시킴과 동시에, 하우징 내부에 충전된 클러스터 빔 재료물질을 가열하여 기체원자로 형성시키고, 형성된 기체원자를 하우징 입구의 노즐을 통과시킨 후 클러스트빔 형태로 기판측에 분사/성장시킴에 의해 고온 초전도막 내부에 고정점(pinning center)을 형성시키는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법을 기술적 요지로 한다. 그리고, 본원발명은 진공 챔버내에서 증발법에 의해 고온초전도막을 형성시키는 고온 초전도막 제조장치에 있어서, 외부와 밀폐되고, 진공펌프와 연결되어 진공배기되는 챔버와; 상기 챔버 내부에 설치되는 기판과; 상기 기판과 이격되어 설치되고, 증기상태로 외부로 배출되는 고온 초전도체 재료물질이 내부에 충전된 도가니와; 상기 기판과 이격되어 설치되고, 내부에 클러스터 빔 재료물질이 충전된 하우징;을 포함하여 구성되어, 도가니에서 분사된 고온 초전도체 증기 및 하우징에서 분사된 클러스터 빔이 기판에 증착되는 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치를 기술적 요지로 한다. 또한, 본원발명은 진공 챔버내에서 증발법에 의해 형성되는 고온 초전도막에 있어서, 고온초전도체 재료물질을 증발시켜 고온초전도체 물질을 증기 상태로 기판에 증착시켜 형성된 초전도막과; 상기 초전도막 형성 시 상기 초전도막 내부에 형성되며, 하우징 내부에 충전된 클러스터 빔 재료물질을 클러스트빔 형태로 기판측에 분사/성장시킴에 의해 고온 초전도막 내부에 형성된 고정점(pinning center);을 포함하여 구성되는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막을 또한 기술적 요지로 한다. 이에 따라, 초전도막 형성과 동시에 클러스터빔 자체를 초전도막에 분사/성장시키는 방법으로 초전도막 내에 나노입자를 형성시킴으로써, 자속선 고정력(pinning force)를 향상시켜 초전도체의 임계전류밀도가 증가된다는 이점이 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

송규정

서울특별시 양천구 목동 902 목동신시가지아파트 217동 1206호

염도준

대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 122동 1402호

임선미

전라남도 무안군 삼향면 유교리 813

정용환

대전광역시 유성구 구성동 한국과학기술원 동측기숙사 5113호

이상무

대전광역시 유성구 장대동 대우이수 드림월드아파트 102동 1004호

정예현

대전광역시 유성구 구성동 한국과학기술원 동측기숙사 7417호

유재은

대전광역시 유성구 송강동 송강마을2단지아파트 205동1311호

(56) 선행기술조사문헌

JP02038561 A

JP03199107 A

JP64042568 A

KR1020050122081 A

KR1020060039026 A

특허청구의 범위

청구항 1

진공 챔버내에서 증발법에 의해 고온초전도막을 형성시키는 고온 초전도막 제조방법에 있어서,

고온초전도체 재료물질을 증발시켜 고온초전도체 물질을 증기 상태로 기판에 증착시킴과 동시에,

하우징 내부에 충전된 클러스터 빔 재료물질을 가열하여 기체원자로 형성시키고, 형성된 기체원자를 하우징 입구의 노즐을 통과시킨 후 클러스트빔 형태로 기판측에 분사/성장시킴에 의해 고온 초전도막 내부에 고정점(pinning center)을 형성시킴을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 기판은 산화물 단결정 기판 또는 완충층이 증착된 금속기판이 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 고온초전도체 재료물질은 산화물계 초전도화합물임을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 고온초전도체 재료물질은 $ABa_2Cu_3O_{7-x}$(단, A=Y,Sm,Nd,Gd,Dy,Ho 중 하나)임을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 클러스트빔 재료물질은 금속산화물이 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 클러스트빔 재료물질은 MgO가 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 클러스트빔은 상기 노즐 입구에서 플라즈마 형태로 형성됨을 특징으로 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 클러스트빔은 디시(DC) 고전압 인가장치를 통과하면서 클러스트빔이 가속됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법.

청구항 9

진공 챔버내에서 증발법에 의해 고온초전도막을 형성시키는 고온 초전도막 제조장치에 있어서,

외부와 밀폐되고, 진공펌프와 연결되어 진공배기되는 챔버와;

상기 챔버 내부에 설치되는 기판과;

상기 기판과 이격되어 설치되고, 증기상태로 외부로 배출되는 고온 초전도체 재료물질이 내부에 충전된 도가니와;

상기 기판과 이격되어 설치되고, 내부에 클러스터 빔 재료물질이 충전된 하우징;을 포함하여 구성되어,

도가니에서 분사된 고온 초전도체 증기 및 하우징에서 분사된 클러스터 빔이 기판에 증착됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 기판은 산화물 단결정 기판 또는 완충층이 증착된 금속기판이 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 하우징에는 노즐이 형성됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 클러스트빔은 상기 노즐 측에 형성된 전자기적 장치에 의해 플라즈마 형태로 형성됨을 특징으로 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 전자기적 장치는 유도코일이 됨을 특징으로 보조 하는 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 클러스트빔은 디시(DC) 고전압 인가장치를 통과하면서 클러스트빔이 가속됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 15

제9항 내지 제14항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 고온초전도체 재료물질은 산화물계 초전도화합물임을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 고온초전도체 재료물질은 $ABa_2Cu_3O_{7-x}$(단, A=Y,Sm,Nd,Gd,Dy,Ho 중 하나)임을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 17

제15항에 있어서, 상기 클러스트빔 재료물질은 금속산화물이 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 클러스트빔 재료물질은 MgO가 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치.

청구항 19

진공 챔버내에서 증발법에 의해 형성되는 고온 초전도막에 있어서,

고온초전도체 재료물질을 증발시켜 고온초전도체 물질을 증기 상태로 기판에 증착시켜 형성된 초전도막과;

상기 초전도막 형성 시 상기 초전도막 내부에 형성되며, 하우징 내부에 충전된 클러스터 빔 재료물질을 클러스트빔 형태로 기판측에 분사/성장시킴에 의해 고온 초전도막 내부에 형성된 고정점(pinning center);을 포함하여 구성됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 클러스터 빔은 하우징 입구의 노즐을 통과된 후 형성됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

청구항 21

제20항에 있어서, 상기 기판은 산화물 단결정 기판 또는 완충층이 증착된 금속기판이 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 클러스트빔은 상기 노즐 측에 형성된 전자기적 장치에 의해 플라즈마 형태로 형성됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 전자기적 장치는 유도코일이 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

청구항 24

제22항에 있어서, 상기 클러스트빔은 디시(DC) 고전압 인가장치를 통과하면서 클러스트빔이 가속됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

청구항 25

제19항 내지 제24항 중 어느 하나의 항에 있어서, 상기 고온초전도체 재료물질은 산화물계 초전도화합물임을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

청구항 26

제25항에 있어서, 상기 고온초전도체 재료물질은 $ABa_2Cu_3O_{7-x}$(단, A=Y,Sm,Nd,Gd,Dy,Ho 중 하나)임을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

청구항 27

제25항에 있어서, 상기 클러스트빔 재료물질은 금속산화물이 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

청구항 28

제27항에 있어서, 상기 클러스트빔 재료물질은 MgO가 됨을 특징으로 하는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<17> 본 발명은 보조 클러스트 빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법, 제조장치, 이 방법에 의해 제조되는 고온 초전도 막에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 클러스터빔을 보조적으로 분사/성장시키는 방법으로 초전도막 내에 나노입자를 형성시킴으로써 자속선 고정력(pinning force)를 향상시켜 초전도체의 임계전류밀도를 증대시키는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법, 제조장치, 이 방법에 의해 제조되는 고온 초전도막에 관한 것이다.

<18> 일반적으로 고온 초전도막은 산화물이나 금속 기판 위에 초전도 층을 입힌 형태로 개발되고 있다. 금속 기판 위에 한 층 이상의 산화물 막을 입히고 그 위에 초전도 층을 증착하여 만드는 초전도 선재를 초전도 박막 선재(coated conductor)라고 부른다. 초전도 박막 선재의 자세한 구조는 크게 4개의 층으로 이루어져 있는데, 금속 기판층, 산화물 완충층, 초전도층, 안정화층으로 이루어져 있다. 초전도층을 형성하는 기술로는 펄스레이저증착법(PLD), 금속유기체증착법(MOD), 금속유기체화학증착법(MOCVD), 그리고 동시증발법(co-evaporation) 등이 있다.

<19> 초전도층의 가장 중요한 조건은 임계전류 밀도가 높아야 한다는 것이다. 특히 임의의 방향으로 가해지는 큰 자기장 하에서도 임계전류 밀도는 가능한 커야한다. 임계전류 밀도의 한계는 외부로부터 침입하여 초전도내에 분포하는 자속선이 로렌츠 힘에 의하여 움직이고자 할 때 로렌츠 힘에 대하여 자속선을 움지이지 못하도록 고정시키는 고정점(pinning center)의 작용으로 정해진다.

<20> 일반적으로 고정점은 초전도체 내부에 존재하는 결함들이며, 형태에 따라, 크게 3가지가 있다. 즉, 자속선과 거의 같은 직경을 갖는 0차원의 점결함, 1차원적인 고정점으로는 전위(dislocation), 주상결함(columnar defect), 2차원적인 것은 결정입계, 판상결함(planar defect), 3차원적인 것은 석출물이나 이상 입자 (second phase)등이 있다. 이들은 그 기하학적인 차이로 인하여 자기장 방향에 따른 임계전류의 이방성이 다르며 그 특징이 정해져 있다.

<21> 한편 초전도 선재를 감아서 전자석으로 사용하든가 혹은 다른 어떤 형태로 사용하는 경우에도 선재로 감아진 내부에는 3차원적으로 여러 방향의 자기장이 형성 된다. 따라서 초전도 선재의 임계밀도에 대한 자기적 이방성은 다양한 특성이 요구되며, 이에 따라 필요한 고정점(pinning center)들의 기하학적 조건도 다양하게 요구된다.

<22> 판상결함은 초전도결정 구조 내에 본래부터 존재하는 고정점으로서 산화구리(CuO) 면이 있고, 또한 결정입계 또한 소경각입계면(low angle mis-orientation grain boundary)의 경우, 고 자기장하에서 유효한 고정점이 된다. 1차원적 선형결함은 초전도막 성장시에 보편적으로 발생하는 주상결함(columnar defects)과 인공적으로 첨가한 나노입자들을 매개(seed)로 하여 성장한 막대 형태의 결함, 전위 등이 잘 알려져 있다.

<23> 금속유기체증착(MOD) 방식에서는 인공적으로 첨가한 나노입자들은 점결함이 된다. 또한 펄스레이저증착(PLD)법으로 고온 초전도막을 기판위에 생성할 때 나노산화물 입자를 첨가하여 선형 결함을 형성하는 것이 보고되고 있다. 이것은 $BaZrO_3$ 나노산화물 입자를 섞은 YBCO 타겟을 펄스레이저증착(PLD)법으로 증착할 때, 초전도상과 나노입자와의 격자불일치(lattice mismatch)에 의해 $BaZrO_3$가 불균일하게 성장하여 나노막대(nanorod)형태의 선형결함을 형성(J.L. Macmanus-Driscoll, Nature Materials 3, 2004, p.439, M.Mukaida, JJAP, 43, 2004, p.1623, A. Goyal et al, Supercond. Sco. Technol. 18, 2005, p.1533)하는 것과, Y_2O_3를 미리 펄스레이저증착(PLD)법으로 증착하는 과정에서 기판 위에 분산 형성시킨 후, 펄스레이저증착(PLD)법으로 YBCO초전도막을 증착하면 Y_2O_3종자 위로 선형결함인 전위가 형성 (K. Matsumoto, JJAP 43, 2004, p.1623)되는 기술에 의해 자속선 핀닝력(pinning force)를 향상시키는 방법들이 대표적으로 보고되어 있다.

<24> 그러나, 상기 종래기술들은 나노입자물질을 초전도체와 섞은 다음, 증착할 때 그것이 표면에서 덩어리(cluster)를 형성하면서 나노입자가 되는바, 이것은 박막 성장 조건에 의존하여 덩어리(cluster)가 형성되는 것이기 때문에 고정점 (pinning center) 형성을 위한 완전한 방법이 되지 못한다는 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<25> 따라서, 본 발명은 상기한 종래기술들의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 클러스터빔 자체를 보조적으로 분사/성장시키는 방법으로 초전도막 내에 나노입자를 형성시킴으로써 자속선 고정력(pinning force)를 향상시켜 초전도체의 임계전류밀도를 증대시키는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법, 제조장치, 이 방법에 의해 제조되는 고온 초전도막을 제공하는 것을 목적으로 한다.

<26> 그리고, 본 발명은 고정점(pinning center)의 원천이 되는 나노입자물질의 클러스트를 형성하는 과정에 있어서, 그의 크기를 조절할 수 있을 뿐만 아니라, 입사방향 그리고 입사 에너지 등의 파라메타의 조절이 가능한 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법, 제조장치, 이 방법에 의해 제조되는 고온 초전도막을 제공하는 것을 또한 목적으로 한다.

발명의 구성 및 작용

<27> 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 진공 챔버내에서 증발법에 의해 고온초전도막을 형성시키는 고온 초전도막 제조방법에 있어서, 고온초전도체 재료물질을 증발시켜 고온초전도체 물질을 증기 상태로 기판에 증착시킴과 동시에, 하우징 내부에 충전된 클러스터 빔 재료물질을 가열하여 기체원자로 형성시키고, 형성된 기체원자를 하우징 입구의 노즐을 통과시킨 후 클러스트빔 형태로 기판측에 분사/성장시킴에 의해 고온 초전도막 내부에 고정점(pinning center)을 형성시키는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조방법을 기술적 요지로 한다.

<28> 그리고, 본원발명은 진공 챔버내에서 증발법에 의해 고온초전도막을 형성시키는 고온 초전도막 제조장치에 있어서, 외부와 밀폐되고, 진공펌프와 연결되어 진공배기되는 챔버와; 상기 챔버 내부에 설치되는 기판과; 상기 기판과 이격되어 설치되고, 증기상태로 외부로 배출되는 고온 초전도체 재료물질이 내부에 충전된 도가니와; 상기 기판과 이격되어 설치되고, 내부에 클러스터 빔 재료물질이 충전된 하우징;을 포함하여 구성되어, 도가니에서 분사된 고온 초전도체 증기 및 하우징에서 분사된 클러스터 빔이 기판에 증착되는 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막 제조장치를 기술적 요지로 한다.

<29> 또한, 본원발명은 진공 챔버내에서 증발법에 의해 형성되는 고온 초전도막에 있어서, 고온초전도체 재료물질을 증발시켜 고온초전도체 물질을 증기 상태로 기판에 증착시켜 형성된 초전도막과; 상기 초전도막 형성 시 상기 초전도막 내부에 형성되며, 하우징 내부에 충전된 클러스터 빔 재료물질을 클러스트빔 형태로 기판측에 분사/성장시킴에 의해 고온 초전도막 내부에 형성된 고정점(pinning center);을 포함하여 구성되는 보조 클러스트빔 분사에 의한 고온 초전도막을 또한 기술적 요지로 한다.

<30> 여기서, 상기 클러스터 빔은 하우징 입구의 노즐을 통과된 후 형성되는 것이 바람직하다.

<31> 그리고, 상기 기판은 산화물 단결정 기판 또는 완충층이 증착된 금속기판이 되는 것이 바람직하다.

<32> 또한, 상기 클러스트빔은 상기 노즐 측에 형성된 전자기적 장치에 의해 플라즈마 형태로 형성되고, 상기 클러스트빔은 디시(DC) 고전압 인가장치를 통과하면서 클러스트빔이 가속되는 것이 바람직하다.

<33> 한편, 상기 고온초전도체 재료물질은 산화물계 초전도화합물이고, 상기 클러스트빔 재료물질은 금속산화물이 되는 것이 바람직하다.

<34> 이에 따라, 초전도막 형성과 동시에 클러스터빔 자체를 초전도막에 분사/성장시키는 방법으로 초전도막 내에 나노입자를 형성시킴으로써, 자속선 고정력(pinning force)를 향상시켜 초전도체의 임계전류밀도가 증가된다는 이점이 있다.

<35> 이하 첨부된 도면을 참조로 본 발명을 상세히 설명한다.

<36> 도 1은 고온초전도막 증착을 위한 증착방식과 클러스터 빔에 의한 나노입자 첨가 방식을 나타낸 개략도이다.

<37> 도시되 바와 같이, 진공펌프(100)로 배기가 가능한 진공챔버(110) 내부에 고온초전도체 재료물질(121)이 충전된 도가니(120)가 형성되어 있다.

<38> 그리고 상기 도가니(120)와 소정 이격된 거리에 입구의 방향 등이 조절가능한 하우징(130)이 형성되어 있으며 상기 하우징(130) 내부에는 클러스트빔 재료물질(131)이 충전되어 있다. 그리고 상기 하우징(130)의 입구는 노즐(132) 형태로 구성된다.

<39> 상기 도가니(120)의 입구 측과 상기 하우징(130)의 입구 측에 대응되어 소정 이격된 거리에는 고온초전도막이 증착 되어질 테이프 형상의 기판(140)이 형성되어 있으며, 상기 기판(140)은 산화물 단결정기판이거나 완충층이 증착된 금속기판이다.

<40> 여기서 상기 고온초전도체 재료물질(121)은 산화물계 초전도화합물이 사용 가능하고, 상기 클러스트빔 재료물질(131)은 금속산화물이 사용가능하다.

<41> 산화물계 초전도화합물의 대표적인 예는 특히 $ABa_2Cu_3O_{7-x}$(단, A=Y,Sm,Nd,Gd,Dy,Ho 중 하나)이고, 금속산화물의 대표적인 예는 특히 MgO 이다.

<42> 여기서 본 발명은 상기의 재료물질에 한정되지 아니하고 사용가능한 재료물질에 모두 적용가능함은 자명한 사실인 것이다.

<43> 상기의 장치 내부에서 증발법에 이용하여 보조 클러스트 빔 분사에 의한 초전도막이 형성되는바, 상기 고온초전도체 재료물질(121)이 채워진 도가니(120)를 전자기적인 방법으로 가열하거나, 전자빔을 가하여 증발시키는 방법 등으로 고온초전도체 재료물질(121)을 증기(122) 상태로 기판(140) 측에 공급하여 증착시킨다. 이때 상기 증기(122) 상태의 초전도체 물질의 증기압은 약 10^{-5} Torr 정도 되도록 조절시킨다.

<44> 동시에 상기 하우징(130)에 충전된 클러스트빔 재료물질(131)을 전자기적으로 가열하는 등의 증발법을 이용하여 나노입자의 빔을 기판(140)에 분사시키는바, 하우징(130) 내부에 충전된 클러스트빔 재료물질(131)을 가열시켜 기체 원자(133)로 형성시킨다.

<45> 기체원자화 된 클러스트빔 재료물질은 기체원자(133)인 상태로 노즐(132)을 통과하면서 상호 간의 충돌에 의하여 나노상태의 나노클러스터(134)를 형성하며, 형성된 나노클러스터(134)가 상기 기판(140) 측에 분사/성장됨에 의해 고온 초전도막 내부에 고정점(pinning center)이 형성되는 것이다. 여기서 상기 나노클러스트의 증기압은 대략 10^{-4}Torr 정도 되도록 유지시킨다.

<46> 클러스트빔의 생성과정에 대한 설명은 도 2를 이용하여 설명하면 아래와 같다.

<47> 통상 고온 초전도막은 산소 분위기에서 증착되는바, 산소분위기에서 클러스터 빔이 분사되어야한다.

<48> 상기에서 본 바와 같이, 클러스터 빔은 클러스트빔 재료물질(131)을 고압 증기 상태의 기체원자(133)로 형성시킨 후 노즐(132)을 통과하여 분사되는데, 이때 압력이 급감하므로 기체원자(133) 증기가 냉각된다. 노즐(132)을 지나면서 기체원자(133) 입자가 서로 충돌하고 또한 서로 부착되어 나노클러스터(134)를 형성한다.

<49> 노즐(132)은 보통 1㎜ 직경으로 작은 것이므로 산소분위기에서 원료 물질이 산화 될 수 있는 것이라면, 그리고 산화물이 노즐 벽에 붙어서 증발되지 않는다면, 결국 노즐을 막아버리므로 기능이 유지되지 않는다. 따라서 가능한한 산화물을 증발시켜 기체원자의 증기로 만든 후, 노즐을 통과시켜야 하며 본 발명에서도 기체원자의 증기로 만든 후 노즐을 통과하여 기판 측으로 분사시켰다.

<50> 그리고 클러스트빔 재료물질은 초전도막 내부에 첨가되어 화학적으로 영향이 없어야한다. 즉 초전도막 형성에 화학적으로나 결정 성장에 막대 결함 등의 형성 외에는 다른 불리한 영향을 주지 말아야 한다.

<51> 이러한 물질은 여러 가지 있을 수 있으며, 본 발명의 실시예에서와 같이 MgO가 대표적이다.

<52> MgO인 경우 클러스터 빔은 다음과 같이 생성할 수 있다. MgO는 1700℃에서 증기압이 0.5Torr이다. 이러한 증기압에서 MgO 분자들의 평균자유경로(mean free path)는 약 0.1㎜이다. 따라서 노즐의 직경이 1㎜이고 길이가 1㎜ 일때 분사과정에서 통상 10번 정도 충돌한다. 팽창하면서 충돌하므로 클러스터를 형성하며 나노 크기가 되는 것이다.

<53> 이러한 클러스터 빔을 생성하기 위하여 노즐이 여러 개 있는 탄탈륨튜브(Ta-tube)에 MgO를 넣고 전류를 통하여 1700℃로 가열하면 된다.

<54> 본 발명에서는 기판과 노즐 위치의 관계에 의하여 클러스트빔 입자 입사각이 결정되며, 입자 에너지를 조절하는 것이 필요하다면 노즐 측에 도 3에서와 같이 유도코일(150) 등과 같은 전자기적 장치를 부착하여 플라즈마를 형성한 후, 디시(DC) 고전압 인가장치(160)를 거치도록 하여 클러스트빔에 가속 전압을 가하면 된다.

<55> 상기의 과정을 통하여 도 4에서와 같이 기판(140) 위에 형성된 고온 초전도막(200) 및 고온 초전도막(2000 내부에 점 결함 형태인 고정점(pinning center)(210)이 형성된다.

<56> 그리고, 상기 고정점(pinning center)은 도 5에서와 같이, 나노클러스터 입자가 기판 위의 초전도막(20))에서 성장하는 과정에서 점 결함(211)의 형태로 존재할 뿐만 아니라 나노막대(nanorod))(212)를 형성하거나 전위(dislocation)(213)를 형성하면서 성장한다.

<57> 따라서, 상기의 고정점(pinning center)들이 자속선(214) 고정력을 향상시켜 초전도체의 임계전류밀도를 증대시키게 되는 것이다.

발명의 효과

<58> 상기의 구성에 의한 본 발명은, 클러스터빔 자체를 보조적으로 분사/성장시키는 방법으로 초전도막 내에 나노입자를 형성시킴으로써 자속선 고정력(pinning force)를 향상시켜 초전도체의 임계전류밀도를 증대시킨다는 효과가 있다.

<59> 그리고, 고정점(pinning center)을 형성하는 과정에 있어서, 나노입자의 밀도, 입사각도, 입사 에너지 등을 하우징의 배치나 설치 각도, 기판과의 간격, 전기적 가열에너지 등을 변화시켜 임의로 조절할 수 있기 때문에 자속선 고정점을 다양한 밀도와 분포로써 형성시킴으로써, 고온초전도 선재의 자기장 중에서의 임계전류밀도 특성을 향상시킬 수 있는 효과가 또한 있다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1 - 고온 초전도막 증착을 위한 증착 방식과 클러스터 빔에 의한 나노입자 첨가 방식을 나타낸 개략도.

<2> 도 2 - 본 발명에 따른 클러스트빔 형성형태를 나타낸 개략도.

<3> 도 3 - 도 2의 하우징 및 노즐 측에 클러스트빔 가속장치가 부착된 형태를 나타낸 개략도.

<4> 도 4 - 기판 위에 고온 초전도막 및 고정점이 형성된 형상을 나타낸 개략도.

<5> 도 5 - 고온 초전도막 내부에 형성된 고정점의 형태를 나타낸 개략도.

<6> < 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

<7> 100 : 진공펌프 110 : 진공챔버

<8> 120 : 도가니 121 : 고온 초전도체 재료물질

<9> 122 : 증기 130 : 하우징

<10> 131 : 클러스트빔 재료물질 132 : 노즐

<11> 133 : 기체원자 134 : 나노클러스트

<12> 140 : 기판 150 : 유도코일

<13> 160 : 고전압 인가장치 200 : 초전도막

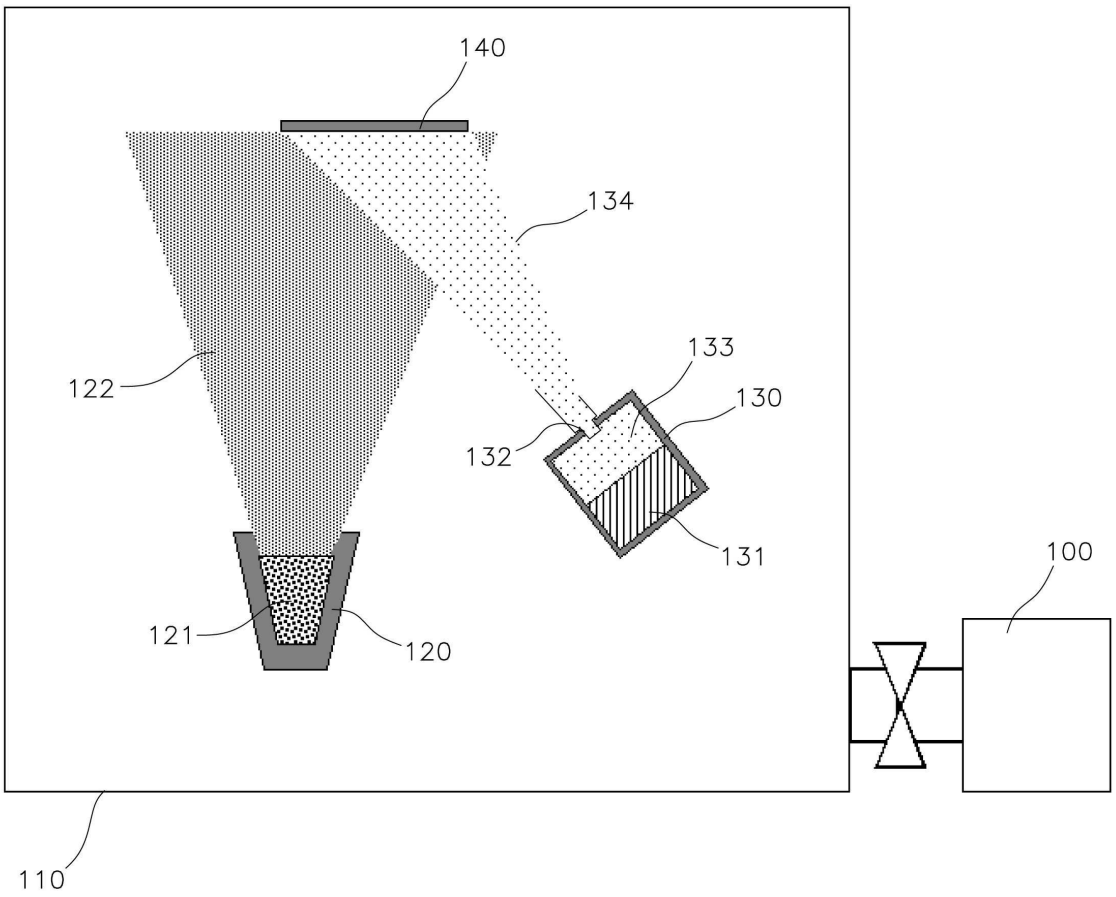
<14> 210 : 고정점 211 : 점 결함

<15> 212 : 나노막대 213 : 전위

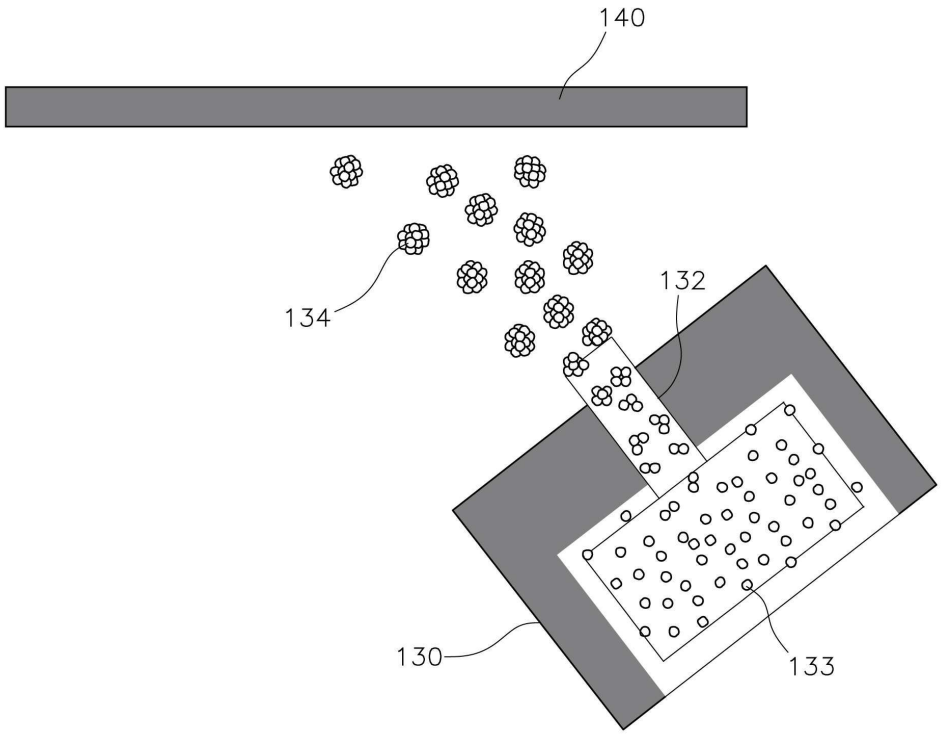
<16> 214 : 자속선

도면

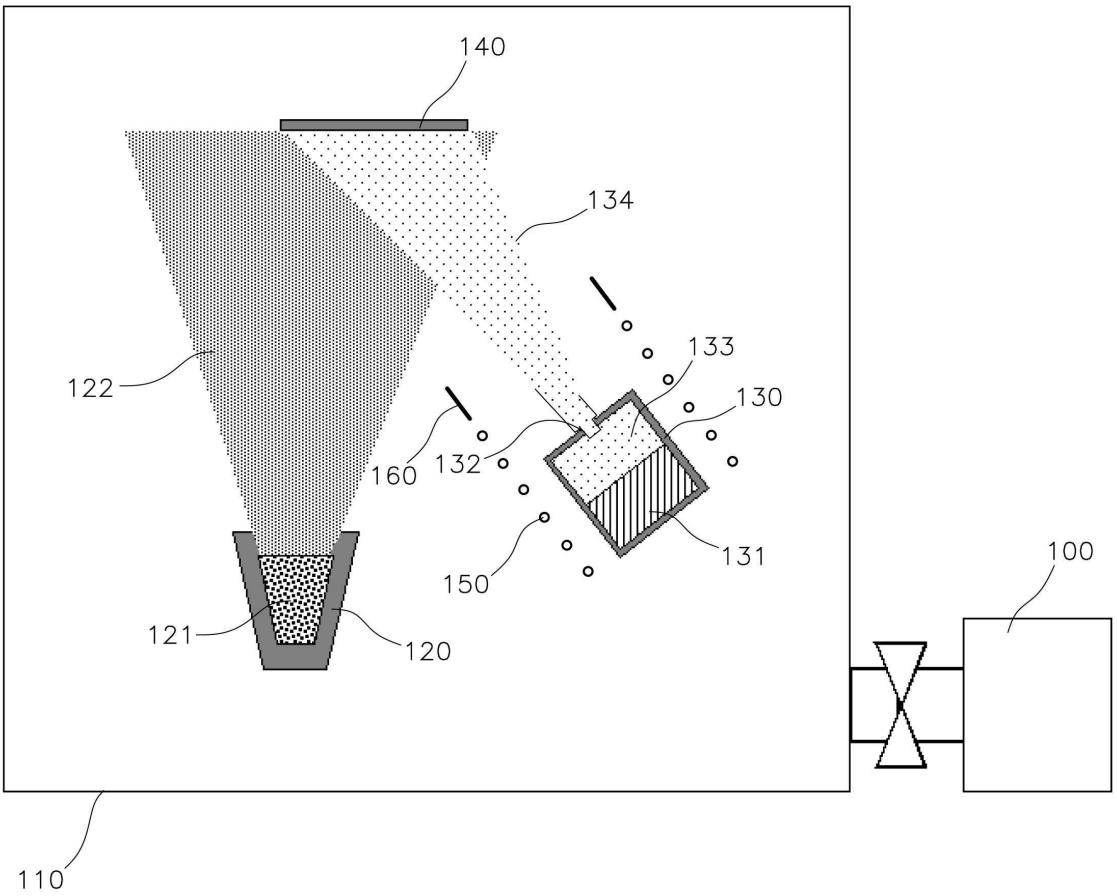
도면1



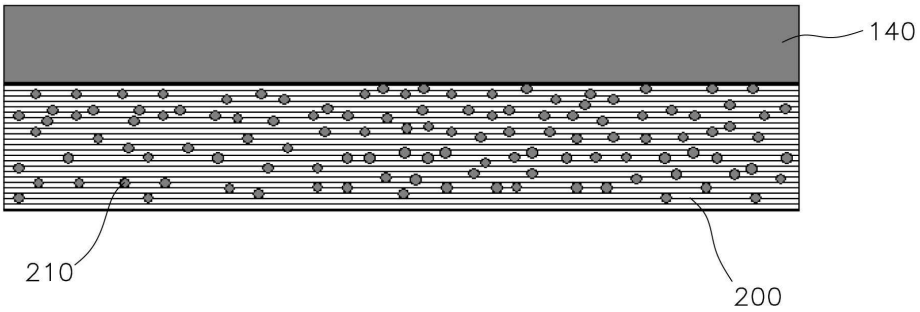
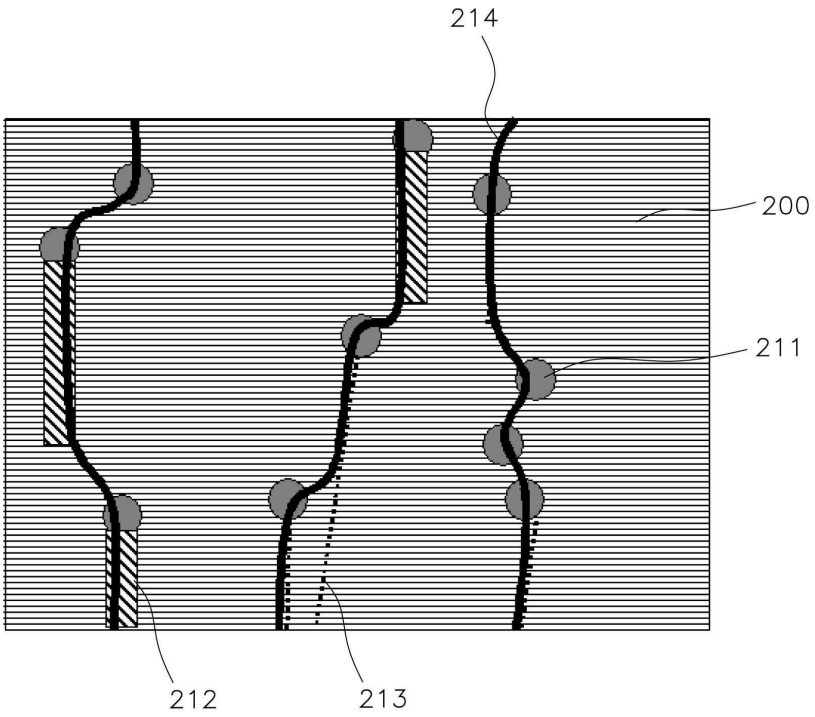
도면2



도면3



도면4



도면5