

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2019-0082086 (43) 공개일자 2019년07월09일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H01F 41/02 (2006.01) H01F 6/04 (2006.01) H01F 6/06 (2006.01)		(71) 출원인 고려대학교 산학협력단 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(52) CPC특허분류 H01F 41/02 (2013.01) H01F 6/04 (2013.01)		(72) 발명자 이해근 서울특별시 동대문구 장한로 119, 548호 손현희 서울특별시 관악구 은천로 93, 108동 1905호
(21) 출원번호	10-2018-0153341	
(22) 출원일자	2018년12월03일	
심사청구일자	2018년12월03일	
(30) 우선권주장		
1020170184824	2017년12월29일	대한민국(KR)
		(74) 대리인 백두진, 김정연, 강일신

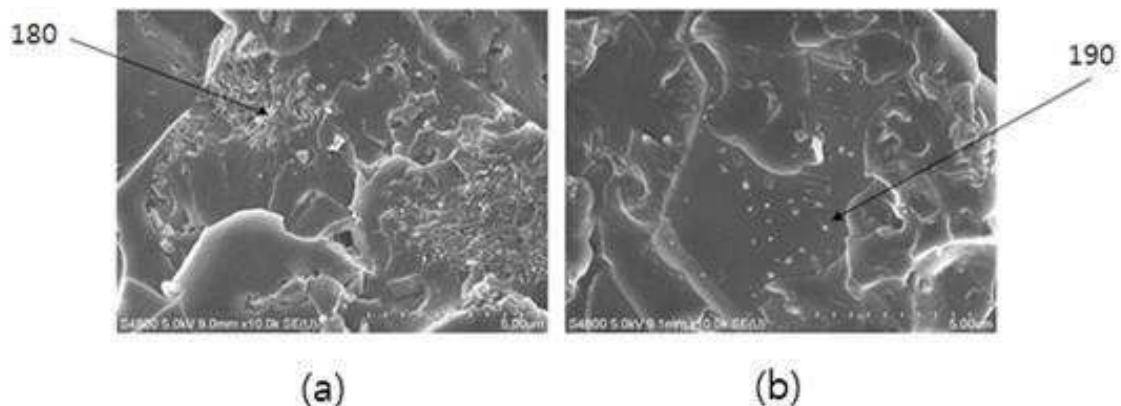
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 열·전기적 안전성이 향상된 초전도 마그넷 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 열·전기적 안전성이 향상된 초전도 마그넷 및 이의 제조방법에 관한 것으로 중심에 형성된 보빈; 상기 보빈의 외주면을 감은 초전도 선재 및 상기 초전도 선재의 외부에 에폭시로 함침하여 형성하되, 상기 에폭시에는 탄소나노튜브가 포함된 것을 특징으로 하는 열·전기적 안전성이 향상된 초전도 마그넷 및 이의 제조방법을 제공한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H01F 6/06 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 D38614
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 한국기초과학지원연구원
연구사업명 전자기 물성측정 장비 개발
연구과제명 초전도자석 안정성 향상 및 영구전류모드 연구
기 여 율 1/2
주관기관 한국기초과학지원연구원
연구기간 2017.03.01 ~ 2017.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10053590
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 전략적핵심소재기술개발사업
연구과제명 초전도 의료·전력기기 적용을 위한 임계전류 특성이 우수한 6km급 MgB2 초전도 선재 및 코일 개발
기 여 율 1/2
주관기관 케이.에이.티.(주)
연구기간 2017.06.01 ~ 2018.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

초전도 마그네티에 있어서,
중심에 형성된 보빈;
상기 보빈의 외주면을 감은 초전도 선재 및
상기 초전도 선재의 외부를 에폭시로 함침하여 형성하되,
상기 에폭시에는 탄소나노튜브가 포함된 것을 특징으로 하는 초전도 마그네티.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 탄소나노튜브는 표면처리를 통해 에폭시 내에서 분산되도록 하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네티.

청구항 3

제2항에 있어서,
상기 탄소나노튜브의 표면처리는 황산 및 질산 용액에서 열처리를 통해 형성함으로써 탄소나노튜브 표면에 COOH기가 형성되는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네티.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 에폭시 내에 탄소나노튜브가 포함되는 양은 0.1 ~ 5wt%인 것을 특징으로 하는 초전도 마그네티.

청구항 5

초전도 마그네티 제조에 있어서,
중심에 형성된 보빈의 외주면에 초전도 선재를 감는 단계; 및
상기 초전도 선재 외부에 에폭시로 함침하는 단계를 포함하되,
상기 에폭시는 탄소나노튜브가 포함되어 있는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네티 제조방법.

청구항 6

제5항에 있어서,
에폭시에 포함되어 있는 탄소나노튜브의 분산도를 높이기 위해 표면처리한 탄소나노튜브를 이용하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네티 제조방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

탄소나노튜브의 표면처리는 황산 및 질산 용액에서 열처리를 실시함으로써 작용기를 형성하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그넷 제조방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 에폭시 내에 탄소나노튜브를 0.1 ~ 5wt%가 포함되도록 하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그넷 제조방법.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 탄소나노튜브가 포함됨으로 인해 초전도 마그넷의 열 및 전기적 안정성을 향상하고 상기 초전도 선재와 상기 에폭시 간의 열수축률 차이를 줄여 초전도 특성 저하를 방지하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그넷 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초전도 마그넷 및 이의 제조방법에 관한 것이며, 보다 상세하게는 극저온에서 사용되는 초전도 마그넷의 함침 물질 내 필러를 넣어 열 및 전기적 안정성을 향상시킨 초전도 마그넷 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 고자장에 대한 연구가 발전함에 따라 초전도 마그넷은 의료분야 뿐만 아니라 전력, 에너지 분야에까지 응용되고 있다. 일반적으로 저온초전도 마그넷 또는 모터나 발전기 등의 회전을 하는 용도에 필요한 마그넷의 경우 극저온용 에폭시로 함침을 하게 된다. 초전도 마그넷에 에폭시를 함침하는 것은 마그넷의 로렌츠 힘을 완화시켜주고, 모터나 발전기와 같은 기기에 응용할 때 발생하는 기계적 진동을 견디도록 하는 이점도 있다.

[0004] 그러나, 일반적이 초전도 마그넷의 경우 국부적인 열이 발생했을 때 열을 효율적으로 확산시키지 못하는 문제점이 있다.

[0005] 도 1은 일반적인 초전도 마그넷에서 퀀치(quench)로 인해 열발생 모습을 대략적으로 나타낸 것이다.

[0006] 기존에 나와있는 초전도 마그넷은 초전도 선재상에 에폭시가 함침되어 있는 데, 불특정 원인으로 인해 특정영역에 국부적 열이 발생했을 때 열을 제대로 확산시켜 바로 냉각시켜야 한다.

[0007] 그러나, 에폭시 물질의 낮은 열전도도로 인하여 발생한 열이 효율적으로 확산되지 못하여 초전도 마그넷에 손상을 주는 경우가 빈번이 발생한다.

[0008] 뿐만 아니라, 냉각 시 초전도 선재와 함침 물질인 에폭시 간의 열수축률 차이로 인하여 코일에 기계적인 내부응력이 발생하여 초전도 특성의 저하를 발생한다.

[0009] 이에 따라 초전도 마그넷의 특정영역에 국부적 열 발생시 효율적으로 열을 확산시킬 수 있으며,

[0010] 냉각시 열수축률 차이를 줄여 초전도 특성의 저하를 방지할 수 있는 초전도 선재의 개발이 요청되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 상기 문제점을 해결하기 위해 본 발명의 목적은 종래의 에폭시 함침으로 형성된 초전도 마그네틱에서 국부적 열이 발생했을 때, 에폭시 물질의 낮은 열전도도로 열이 효율적으로 확산되지 못하는 문제점을 해결할 수 있는 초전도 마그네틱을 제공하는 데 있다.
- [0013] 또한, 본 발명의 다른 목적은 초전도 마그네틱의 냉각시 초전도 선재와 함침한 에폭시 간의 열수축률 차이에 따라 기계적인 내부응력이 발생하는 데, 열수축률을 줄일 수 있는 초전도 마그네틱을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0015] 본 발명의 일 측면에 따르면, 초전도 마그네틱에 있어서, 중심에 형성된 보빈; 상기 보빈의 외주면을 감은 초전도 선재 및 상기 초전도 선재의 외부를 에폭시로 함침하여 형성하되, 상기 에폭시에는 탄소나노튜브가 포함된 것을 특징으로 하는 초전도 마그네틱을 제공한다.
- [0016] 또한 본 발명에 따르면, 상기 탄소나노튜브는 표면처리를 통해 에폭시 내에서 분산되도록 하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네틱을 제공한다.
- [0017] 또한 본 발명에 따르면, 상기 탄소나노튜브의 표면처리는 황산 및 질산 용액에서 열처리를 통해 형성함으로써 탄소나노튜브 표면에 COOH 기가 형성되는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네틱을 제공한다.
- [0018] 또한 본 발명에 따르면, 상기 에폭시 내에 탄소나노튜브가 포함되는 양은 0.1 ~ 5wt%인 것을 특징으로 하는 초전도 마그네틱을 제공한다.
- [0019] 또한 본 발명에 따르면, 초전도 마그네틱 제조에 있어서, 중심에 형성된 보빈의 외주면에 초전도 선재를 감는 단계; 및 상기 초전도 선재 외부에 에폭시로 함침하는 단계를 포함하되, 상기 에폭시는 탄소나노튜브가 포함되어 있는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네틱 제조방법을 제공한다.
- [0020] 또한 본 발명에 따르면, 에폭시에 포함되어 있는 탄소나노튜브의 분산도를 높이기 위해 표면처리한 탄소나노튜브를 이용하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네틱 제조방법을 제공한다.
- [0021] 또한 본 발명에 따르면, 탄소나노튜브의 표면처리는 황산 및 질산 용액에서 열처리를 실시함으로써 작용기를 형성하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네틱 제조방법을 제공한다.
- [0022] 또한 본 발명에 따르면, 상기 에폭시 내에 탄소나노튜브를 0.1 ~ 5wt%가 포함되도록 하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네틱 제조방법을 제공한다.
- [0023] 또한 본 발명에 따르면, 상기 탄소나노튜브가 포함됨으로 인해 초전도 마그네틱의 열 및 전기적 안정성을 향상하고 상기 초전도 선재와 상기 에폭시 간의 열수축률 차이를 줄여 초전도 특성 저하를 방지하는 것을 특징으로 하는 초전도 마그네틱 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0025] 본 발명의 일 실시 예에 의하면, 초전도 마그네틱에 표면처리한 탄소나노튜브를 필러로 넣은 에폭시를 함침함으로써 에폭시의 열전도도를 높여 국부적 열이 발생했을 때 효율적으로 열을 확산하여 초전도 마그네틱의 열 및 전기적 안정성을 높이는 장점이 있다.
- [0026] 또한, 본 발명에 따른 열·전기적 안정성이 향상된 초전도 마그네틱 및 이의 제조방법은 냉각시 발생하는 초전도 선재와 에폭시 간의 열수축률 차이를 줄여 초전도 특성의 저하를 방지할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 일반적인 초전도 마그네틱에서 퀸치(quench)로 인해 열발생 모습을 대략적으로 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 초전도 마그네틱의 단면도를 나타낸 것이다.

도 3은 에폭시에 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브와 표면처리를 한 탄소나노튜브의 SEM 사진이다.

도 4는 초전도 마그넷의 구성인 에폭시에 탄소나노튜브를 넣었을 때 상온에서 극저온(77K)에 도달하는 시간을 나타낸 그래프이다.

도 5는 에폭시에 탄소나노튜브를 포함시킨 초전도 마그넷의 퀀치 테스트를 그래프로 나타낸 것이다.

도 6은 탄소나노튜브를 포함시킨 초전도 마그넷을 상온에서 냉각하고, 임계전류를 측정된 뒤, 다시 상온으로 가열하는 과정을 22번 반복하여 측정된 임계전류 값을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면들을 참조하여 더욱 상세하게 설명한다. 본 발명의 실시 예는 여러 가지 형태로 변형할 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래의 실시 예들로 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 실시 예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다. 따라서 도면에서의 요소의 형상은 보다 명확한 설명을 강조하기 위해 과장되었다.
- [0031] 본 발명은 열·전기적 안정성이 향상된 초전도 마그넷 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 중심에 형성된 보빈; 상기 보빈의 외주면을 감은 초전도 선재 및 상기 초전도 선재의 외부를 에폭시로 함침하여 형성하되, 상기 에폭시에는 탄소나노튜브가 포함된 것을 특징으로 한다.
- [0032] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 초전도 마그넷의 단면도를 나타낸 것이다.
- [0033] 초전도 마그넷(100)은 보빈(110), 초전도 선재(120), 에폭시 함침(130)을 포함할 수 있다.
- [0034] 상기 보빈(110)은 초전도 마그넷(100)의 중심에 배치되는 데, 보빈으로 이용할 수 있는 재료로는 열전도도가 낮은 베이크라이트 물질이 이용될 수 있다.
- [0035] 또한, 상기 보빈(110)의 외주면을 따라 초전도 선재(120)가 형성될 수 있다. 상기 초전도 선재(120)은 여러 회를 통해 상기 보빈에 감겨 형성될 수 있다.
- [0036] 상기 초전도 선재(120)는 30K 미만에서 초전도성을 갖는 저온초전도체와 30K 이상의 온도에서 초전도성을 갖는 고온 초전도체를 모두 포함할 수 있다. 상기 초전도 선재(120)는 초전도 물질의 임계온도 이하의 온도에서 저항 없이 전류가 흐를 수 있는 것이 특징이다.
- [0037] 초전도 선재(120) 외부에는 에폭시(130)로 함침 되어 있는 데, 상기 에폭시 에는 표면처리한 탄소나노튜브를 첨가할 수 있다.
- [0038] 초전도 마그넷은 초전도 마그넷에 구성되어 있는 초전도 선재(120)에 국부적인 열이 발생하였을 때, 이를 효율적으로 확산시켜 초전도 마그넷의 안정성을 높여야 한다. 그렇지 않으면 열로 인해 초전도 선재(120)가 초전도성을 잃고 저항이 증가할 수 있다.
- [0039] 이에 따라 본 발명에서는 초전도 선재(120) 외부에 에폭시를 함침시키되 열도전율이 높은 탄소나노튜브를 포함시켰다. 탄소나노튜브를 넣어 에폭시의 열전도도를 높이면 효율적으로 열을 확산시켜 초전도 마그넷(100)의 열 및 전기적 안정성을 높일 수 있다.
- [0040] 또한, 냉각 시에도 초전도 선재(120)와 극저온 에폭시(130) 간의 열수축률의 차이로 인하여 초전도 마그넷(100) 내의 기계적 내부 응력이 발생할 수 있는 데, 이는 초전도 마그넷(100)의 초전도 특성 저하를 일으킬 수 있다. 이를 위해 에폭시(130)에 탄소나노튜브를 넣음으로써 초전도 선재(120)와 에폭시(130) 간의 열수축률 차이를 줄일 수 있도록 하였다.
- [0041] 본 발명에서 에폭시에 포함된 탄소나노튜브는 에폭시 내에서 분산도를 높이기 위해 표면처리한 탄소나노튜브를 이용할 수 있다.
- [0043] 도 3은 에폭시에 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브와 표면처리한 탄소나노튜브의 SEM 사진이다.
- [0044] 도 3을 참조하면, 상기 에폭시(130)에 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브(180)를 넣었을 때, 탄소나노튜브가 에폭시(130) 내에서 균일한 분산이 이루어지지 않는다(도 3의 (a) 참조). 이 경우 열전도율이 높은 탄소나노튜브

가 일정구역에만 존재하여 고르게 분산되어 있지 않기 때문에 효율적인 열전도도 향상을 기대하기 어렵다.

- [0045] 반면에 탄소나노튜브에 표면처리를 하게 되면 에폭시내에서 고르게 분산되어 형성될 수 있다.
- [0046] 탄소나노튜브에 표면처리를 하는 방법으로는 황산 및 질산을 이용하여 할 수 있다. 상기 황산 및 질산을 3 : 1의 질량비율로 약 100℃에서 약 30분간 열처리를 통해 표면처리한 탄소나노튜브(190)를 얻을 수 있다.
- [0047] 약 30분간 열처리를 한 후 멤브레인을 통해 황산 및 질산을 걸러내어 표면처리한 탄소나노튜브(190)를 얻는데, 탄소나노튜브를 표면처리하면 탄소나노튜브에 COOH 작용기가 형성되어 에폭시 내에서 탄소나노튜브간 분산도를 향상시킨다.
- [0048] 즉, 표면처리를 통해 탄소나노튜브 표면에 작용기를 형성하여 에폭시(130)내 탄소나노튜브의 분산도를 높일 수 있다.(도 3의 (b) 참조)
- [0049] 또한, 본 발명은 에폭시 내에 탄소나노튜브가 포함시키는 데, 탄소나노튜브가 에폭시내에 포함되는 양은 0.1 ~ 5wt%인 것이 바람직하다. 상기 범위로 탄소나노튜브가 포함되어 있는 경우 에폭시의 열전도도를 높여 국부적 열이 발생했을 때 효율적으로 열을 확산할 수 있다.
- [0050] 도 4는 초전도 마그넷의 구성인 에폭시에 탄소나노튜브를 넣었을 때 상온에서 극저온(77K)에 도달하는 시간을 나타낸 그래프이다.
- [0051] 초전도 마그넷에서 에폭시 최내각(TC1), 에폭시 중간(TC2), 에폭시 최외각(TC3)에서 열전대(160)를 측정 한 것이다.(도 2의 열전대(160) 위치 참조)
- [0052] 도 4는 에폭시에 탄소나노튜브가 포함되어 있는 초전도 마그넷을 상온에서 극저온(77K)에 도달하는 시간을 보여주는 데, 도 4의 (a)는 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브를 넣었을 때이며, 도 4의 (b)는 표면처리한 탄소나노튜브를 넣었을 때 극저온(77K)에 도달하는 시간을 나타낸다. 극저온(77K)에 도달하는 실험은 액체질소에 넣음으로써 실시할 수 있다.
- [0053] 도 4의 (a)를 참조하면, 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브를 넣었을 때, 에폭시 최내각(TC1), 에폭시 중간(TC2), 에폭시 최외각(TC3)이 모두 극저온(77K)에 도달하는 시간은 58.2초이다.
- [0054] 도 4의 (b)를 참조하면, 표면처리한 탄소나노튜브를 넣었을 때, 에폭시 최내각(TC1), 에폭시 중간(TC2), 에폭시 최외각(TC3)이 모두 극저온(77K)에 도달하는 시간은 38.2초이다.
- [0055] 이에 반해 탄소나노튜브를 넣지 않고 에폭시만을 이용해 에폭시 최내각(TC1), 에폭시 중간(TC2), 에폭시 최외각(TC3)이 모두 극저온(77K)에 도달하는 시간은 468.1초이다.
- [0056] 이에 따라, 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브를 넣었을 때의 초전도 마그넷의 극저온(77K)에 도달시간은 58.2초로 기존 에폭시 만을 넣었을 때(468.1초)에 비해 7.0배 향상되었으며, 표면처리한 탄소나노튜브를 넣었을 때의 초전도 마그넷의 극저온(77K)에 도달시간은 39.8초로 기존 에폭시 만을 넣었을 때(468.1초)에 비해 11.8배 향상됨을 확인할 수 있다.
- [0057] 이에 따라 탄소나노튜브가 포함되었을 때 기존 에폭시 만을 넣었을 때에 비해 효율적인 열전도도로 인해 빨리 냉각되며, 특히 표면처리한 탄소나노튜브를 넣었을 때 보다 빨리 냉각되는 것을 확인할 수 있다.
- [0059] 도 5는 에폭시에 탄소나노튜브를 포함시킨 초전도 마그넷의 퀀치 테스트를 그래프로 나타낸 것이다.
- [0060] 도 5의 (a)는 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브(180)를 넣었을 때 퀀치 테스트를, 도 5의 (b)는 표면처리한 탄소나노튜브를 넣었을 때 퀀치 테스트를 보여준다.
- [0061] 퀀치 테스트는 운전전류 93.6A를 인가하고, 히터를 통해 열에너지를 가하여 퀀치가 발생하는 최소 에너지(minimum quench energy, MQE)를 확인함으로써 초전도 마그넷(100)이 열 및 전기적 안정성을 평가할 수 있다. MQE가 클수록 열 및 전기적으로 안정하다고 평가할 수 있다.
- [0062] 도 5의 (a)의 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브(180)를 넣었을 때 퀀치가 발생하는 최소 에너지(MQE)는 2.0J 인데 반해, 도 5의 (b)의 표면처리한 탄소나노튜브(190)를 넣었을 때 퀀치가 발생하는 최소 에너지(MQE)는 5.0J로 표면처리한 탄소나노튜브(190)를 넣었을 때 MQE가 2.5배 높아져, 표면처리한 탄소나노튜브가 에폭시에 함침되어 있을 때 열 및 전기적으로 더 안정하다고 평가할 수 있다.

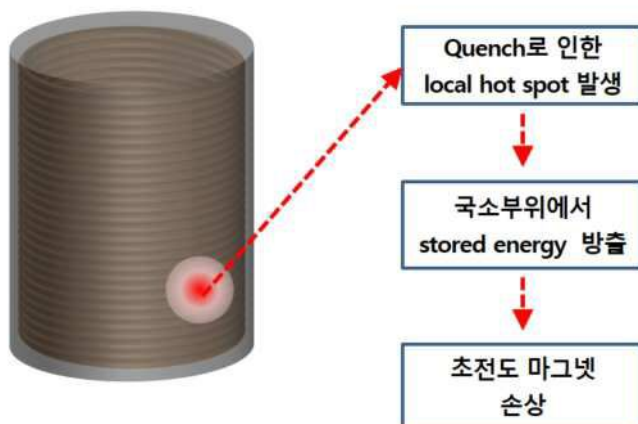
- [0064] 도 6은 탄소나노튜브를 포함시킨 초전도 마그넷을 상온에서 냉각하고, 임계전류를 측정 한 뒤, 다시 상온으로 가열하는 과정을 22번 반복하여 측정한 임계전류 값을 나타낸 것이다.
- [0065] 도 5를 참조하면, 표면처리한 탄소나노튜브(190)를 넣은 에폭시(130)로 함침한 초전도 마그넷(100)이 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브(180)를 넣은 에폭시(130)로 함침한 초전도 마그넷보다 초전도 특성 저하가 적은 것을 보여준다.
- [0066] 표면처리한 탄소나노튜브(190)를 넣은 에폭시(130)로 함침한 초전도 마그넷(100)은 20회 반복시까지 임계전류값이 변화가 없었는 데 반해, 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브(180)를 넣은 에폭시(130)로 함침한 초전도 마그넷(100)은 14회 반복시부터 임계전류값이 떨어져서 21회 반복시에는 많은 값이 떨어지는 것을 확인 할 수 있다.
- [0067] 이는 표면처리한 탄소나노튜브(190)를 넣은 에폭시(130)로 함침한 초전도 마그넷(100)이 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브(180)를 넣은 에폭시(130)로 함침한 초전도 마그넷보다 초전도 선재와 에폭시 간의 열수축률 차이가 적은 것을 보여준다.
- [0068] 이상의 상세한 설명은 본 발명을 예시하는 것이다. 또한 기술한 내용은 본 발명의 바람직한 실시 형태를 나타내어 설명하는 것이며, 본 발명은 다양한 다른 조합, 변경 및 환경에서 사용할 수 있다. 즉 본 명세서에 개시된 발명의 개념의 범위, 저술한 개시 내용과 균등한 범위 및/또는 당업계의 기술 또는 지식의 범위내에서 변경 또는 수정이 가능하다. 저술한 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 최선의 상태를 설명하는 것이며, 본 발명의 구체적인 적용 분야 및 용도에서 요구되는 다양한 변경도 가능하다. 따라서 이상의 발명의 상세한 설명은 개시된 실시 상태로 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 또한 첨부된 청구범위는 다른 실시 상태도 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

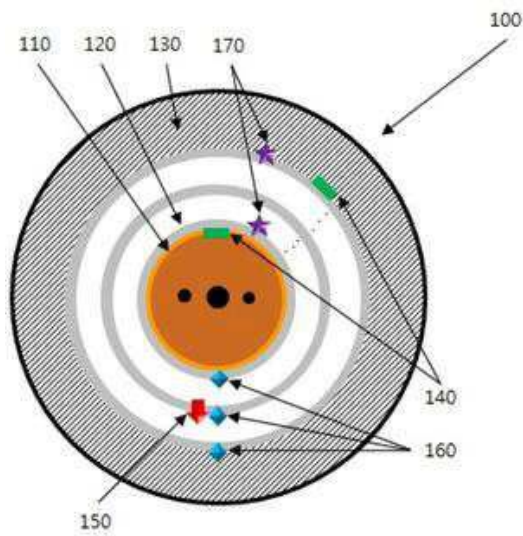
- [0070] 100 : 초전도 마그넷
110 : 보빈 120 : 초전도 선재
130 : 에폭시 140 : 전류도입선
150 : 히터 160 : 열전대
170 : 전압탭 180 : 표면처리 하지 않은 탄소나노튜브
190 : 표면처리한 탄소나노튜브

도면

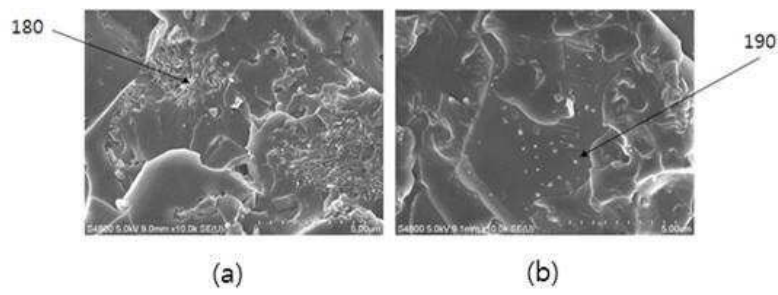
도면1



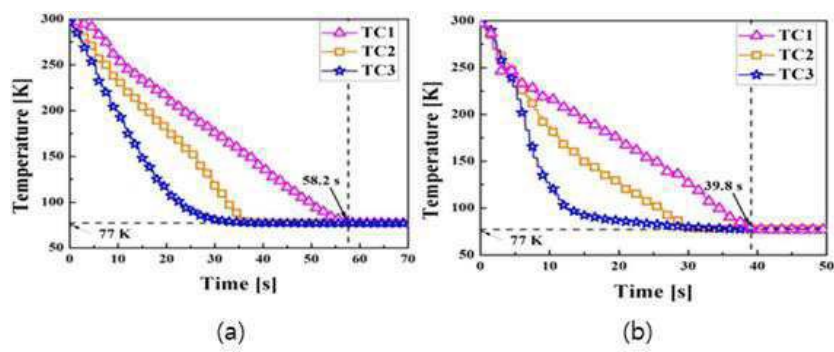
도면2



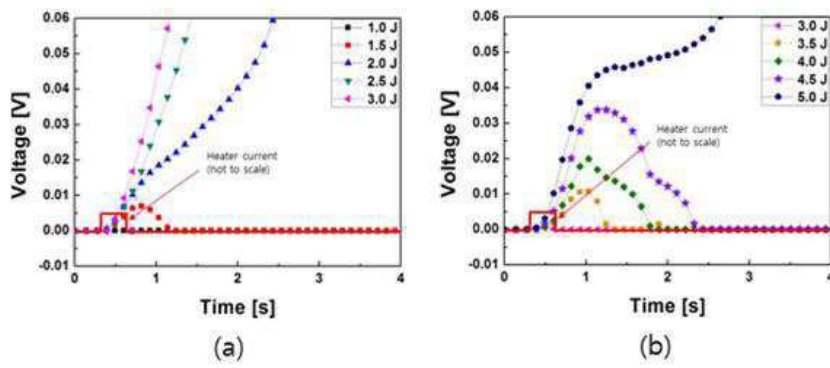
도면3



도면4



도면5



도면6

