



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년06월15일
(11) 등록번호 10-1630715
(24) 등록일자 2016년06월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 35/12 (2006.01) H01L 35/02 (2006.01)
H01L 35/34 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 35/12 (2013.01)
H01L 35/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0006080
(22) 출원일자 2015년01월13일
심사청구일자 2015년01월13일
(56) 선행기술조사문헌
논문(2008. 10. 30)
논문(2012. 08. 30)
논문(2009. 12. 30)

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
박영빈
서울특별시 서대문구 북아현로4가길 24 (북아현동)
박형욱
서울특별시 마포구 독막로 266, 104동 1610호 (대흥동, 대흥동태영아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
전용준

전체 청구항 수 : 총 2 항

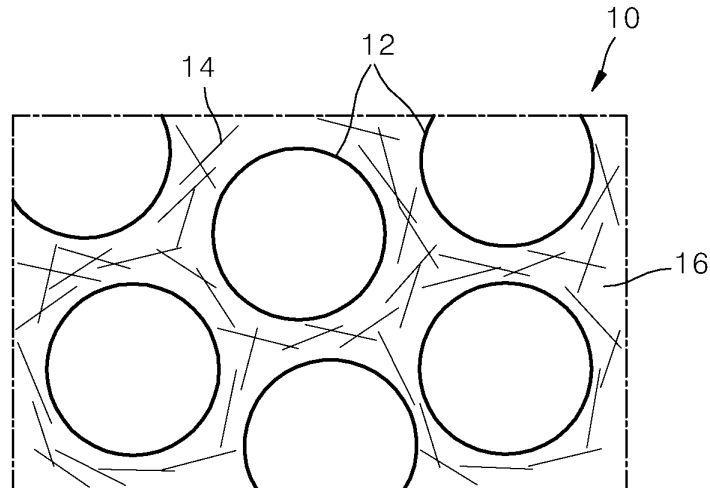
심사관 : 이우찬

(54) 발명의 명칭 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재 및 그의 제조방법

(57) 요약

본 발명은, 글래스 버블과 탄소나노튜브를 혼합하여 복합재를 제조함으로써, 열전 장치의 n-타입 소자에 적용 가능하여 구조체로서의 기능 및 열에너지 수확 기능을 수행할 수 있는 이점이 있다. 또한, 글래스 버블에 의해 글래스 버블들 사이의 공간에서 탄소나노튜브가 밀집되어 전기적 네트워크를 보다 잘 형성할 수 있으므로, 열전 성능이 보다 향상될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 35/34 (2013.01)

(72) 발명자

강구혁

대구광역시 달성군 화원읍 비슬로539길 35, 111동
1303호 (화원읍, 대곡역래미안아파트)

김명수

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 교수아
파트 402동 403호 (언양읍)

성광원

부산광역시 서구 꽃마루로 57, 101동 1804호 (서대
신동3가, 금호어울림아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415133651

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원

연구사업명 광역경제권선도산업육성

연구과제명 초임계유체를 사용한 블로워공법에 의한 자동차용 내장재 개발

기 여 율 1/2

주관기관 울산과학기술대학교

연구기간 2012.03.01 ~ 2015.04.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345211533

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 지역기초연구활성화(교육부)

연구과제명 나노소재로 표면개질된 다기능성 탄소섬유 열가소성 복합재 연구

기 여 율 1/2

주관기관 울산과학기술대학교

연구기간 2012.05.01 ~ 2015.03.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

중공의 미세 입자들과,

상기 미세 입자들에 의해 상기 미세 입자들 사이의 공간으로 분산되어 서로 전기적 네트워크를 형성하는 탄소나노소재를 포함하고,

상기 미세 입자는, 글래스 버블(Glass Burbble)이고, 직경은 15 μm 내지 40 μm 이하이며,

상기 탄소나노소재는 탄소나노튜브이고, 평균 길이는 200 μm 내지 300 μm 이며,

상기 글래스 버블은 5 내지 15vol%, 상기 탄소나노튜브는 0.5 내지 0.6vol% 인 열전장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

수지에 평균 길이가 200 μm 내지 300 μm 인 탄소나노튜브를 혼합하고, 상기 탄소나노튜브를 분산시키는 단계와;

상기 탄소나노튜브가 분산된 용액에 직경이 15 μm 내지 40 μm 이하인 글래스 버블을 혼합하여 혼합물을 생성하는 단계와;

상기 혼합물을 응고 및 건조시킨 후, 원하는 형상의 복합재로 제조하는 단계를 포함하고,

상기 글래스 버블은 5 내지 15vol%, 상기 탄소나노튜브는 0.5 내지 0.6vol%로 혼합되는 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재 및 그의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 탄소나노소재와 중공의 입자들을 포함하여 열전성능이 향상될 수 있는 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재 및 그의 제조방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 최근에는 한정된 화석 연료에 대한 의존도를 줄이기 위한 대체 에너지 기술 중 하나로 열에너지 수확 기술이 연구되고 있다. 상기 열에너지 수확기술은, 열전 장치(Thermoelectric device)를 이용하여 버려지는 열을 전기 에너지로 전환시키는 기술이다. 상기 열전 장치는 열이 유입되는 고온부, 열이 방출되는 저온부, 상기 고온부와 상기 저온부 사이에 구비되어 열전달과 함께 전류를 흐르게 하는 n-타입 소자와 p-타입 소자를 포함한다. 상기 n-타입 소자와 상기 p-타입 소자는 열전 재료이며, 열전 재료의 성능에 대해 지속적으로 연구되고 있다.
- [0003] 기존의 열전 장치는 나노구조의 BiTi 합금, ReTe 합금, LaSrCoO₃ 등으로 이루어졌으나, 가격이 비싸고 제조가 어려우며, Te의 경우 독성이 매우 강한 문제점 등이 있다. 따라서, 열전 장치에 사용할 수 있는 전도성 재료에 대한 연구가 요구되고 있다.
- [0004] 또한, 최근에는 항공, 자동차, 건설 등 여러 산업 분야에서 복합재료의 사용이 증가하고 있다. 상기와 같이 여러 산업분야에 사용되는 복합재료들은 태양열 에너지나 각종 기계장치에서 발생되어 버려지는 열에 노출되어 있다. 따라서, 상기 복합재료들이 구조체로서의 본래 기능을 수행함과 동시에 버려지는 열을 사용가능한 전기 에너지로 재생산하는 기능을 수행할 수 있도록 다기능성 복합재료에 대한 연구가 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) US2012/0153240 A1

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명의 목적은, 열전성능이 향상될 수 있는 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재 및 그의 제조방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명에 따른 열전장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재는, 중공의 미세 입자들과, 상기 미세 입자들에 의해 상기 미세 입자들 사이의 공간으로 분산되어 서로 전기적 네트워크를 형성하는 탄소나노소재를 포함한다.
- [0008] 본 발명에 따른 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재의 제조방법은, 수지와 탄소나노튜브를 혼합하고, 상기 탄소나노튜브를 분산시키는 단계와, 상기 탄소나노튜브가 분산된 용액에 상기 글래스 버블을 혼합하여 혼합물을 생성하는 단계와, 상기 혼합물을 응고 및 건조시킨 후, 원하는 형상의 복합재로 제조하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0009] 본 발명은, 중공의 미세 입자들과 탄소나노소재를 혼합하여 복합재를 제조함으로써, 열전 장치의 n-타입 소자에 적용 가능하여 구조체로서의 기능 및 열에너지 수확 기능을 수행할 수 있는 이점이 있다.
- [0010] 또한, 중공의 미세 입자들에 중공의 미세 입자들 사이의 공간에서 탄소나노소재가 밀집되어 전기적 네트워크를 보다 잘 형성할 수 있으므로, 열전 성능이 보다 향상될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재의 단면도이다.
- 도 2는 도 1에 도시된 복합재의 구성요소들을 나타낸 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재의 제조방법이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편에서 iM30K 글래스 버블 사용시, 글래스 버블과 탄소나노튜브의 부

피 분율에 따른 열전도도를 나타낸 그래프이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편에서 iM30K 글래스 버블 사용시, 글래스 버블과 탄소나노튜브의 부피 분율에 따른 전기전도도를 나타낸 그래프이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편의 마이크로 글래스 버블과 탄소나노튜브의 부피 분율에 따른 제백 계수를 나타낸 그래프이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편의 마이크로 글래스 버블과 탄소나노튜브의 부피 분율에 따른 성능 지수를 나타낸 그래프이다.

도 8a 내지 도 8c는 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편의 글래스 버블의 크기에 따른 성능 지수의 나타낸 그래프이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편의 글래스 버블의 크기에 따른 탄소나노튜브의 분산 정도를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다.
- [0013] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재의 단면도이다. 도 2는 도 1에 도시된 복합재의 구성요소들을 나타낸 도면이다.
- [0014] 도 1 및 도 2를 참조하면, 상기 복합재(10)는, 중공의 미세 입자들, 탄소나노소재 및 수지가 혼합되어 형성된다.
- [0015] 상기 미세 입자들은, 각각 속이 빈 구(sphere) 형상으로 이루어진다. 본 실시예에서는, 상기 미세 입자는 마이크로 크기의 글래스 버블(GB, Glass Bubble)(12)인 것으로 예를 들어 설명한다. 상기 글래스 버블은 가볍고, 사이즈 조절이 가능하며, 응집성이 없어서 복합재에 첨가시 분산률이 좋은 장점이 있다. 다만, 이에 한정되지 않고, 글래스 외에 플라스틱이나 다른 재료가 사용되는 것도 물론 가능하다. 본 실시예에서는, 상기 미세 입자의 직경은 15 μm 내지 40 μm 범위인 것으로 예를 들어 설명한다. 상기 미세 입자의 직경이 약 15 μm 미만일 경우, 상기 탄소나노소재의 네트워크 형성에 문제점이 있다. 상기 미세 입자들 사이의 공극에 밀집된 상기 네트워크의 공간이 너무 좁기 때문에, 열전효과의 증대를 기대하기 힘들다. 또한, 상기 미세 입자의 직경이 약 40 μm 을 초과할 경우, 공극률이 증대되어 상기 미세 입자들 사이에서 상기 탄소나노소재들이 밀집되는 효과가 없어지게 된다.
- [0016] 상기 탄소나노소재는 단일벽 탄소나노튜브, 다중벽 탄소나노튜브 및 탄소나노섬유 중 적어도 하나를 포함한다. 본 실시예에서는, 상기 탄소나노소재는 다중벽 탄소나노튜브(MWCNT)(14)를 사용하는 것으로 예를 들어 설명하고, 이하 탄소나노튜브(CNT)(14)라고 한다. 상기 탄소나노튜브(14)는 마이크로 단위의 길이로 잘라 사용되며, 상기 탄소나노튜브(14)의 평균 길이는 약 200 μm 내지 300 μm 인 것으로 예를 들어 설명한다. 상기 탄소나노튜브(14)의 길이가 짧을수록 기계적 물성이 좋으며, 길이가 길수록 전기적 물성이 좋아진다. 상기 탄소나노튜브(14)의 길이가 200 μm 미만이면 전기적 물성이 낮아서 열전 효과에 불리하며, 약 300 μm 을 초과하면 전기적 물성은 좋아지지만 분산률이 낮아지게 되므로, 상기 탄소나노튜브(14)의 평균 길이는 약 200 μm 내지 300 μm 을 사용한다.
- [0017] 상기 수지(16)는 Nylon 6이 사용되는 것으로 예를 들어 설명한다.
- [0018] 상기와 같이 구성된 본 발명의 실시예에 따른 열전 장치의 n-타입 소자에 사용되는 복합재의 제조방법을 설명하면, 다음과 같다.
- [0019] 먼저, 상기 탄소나노튜브(14) 및 상기 수지(16)를 혼합한다.(S1) 포름산에 상기 수지(16)를 녹인 후, 상기 탄소나노튜브(14)를 혼합한다. 상기 탄소나노튜브(14)는 다중벽탄소나노튜브(MWCNT)가 사용된다. 본 실시예에서는, 상기 탄소나노튜브(14)는 한화 나노테크사의 CM-250을 사용하는 것으로 예를 들어 설명한다. 상기 CM-250은 순도가 약 95%이상이고, 내부 직경은 10 내지 30nm이며, 외부 직경은 60 내지 100 nm이다. 상기 CM-250의 평균 길이는 약 250 μm 이다. 상기 수지(16)는 Nylon 6이 사용되며, 본 실시예에서는 효성의 1101SD를 사용하는 것으로 예를 들어 설명한다.
- [0020] 상기 수지(16)와 상기 탄소나노튜브(14)가 혼합된 용액을 소니케이션 처리를 하여, 상기 용액에서 상기 탄소나

노튜브(14)를 분산시킨다.(S2)

- [0021] 상기 용액에 상기 글래스 버블(12)을 혼합하여 혼합물을 생성한다. 상기 글래스 버블(12)은 직경이 15 μ m 내지 40 μ m 범위의 것이 사용된다. 본 실시예에서는, 상기 글래스 버블(12)은 3M사의 iM30K와 S22를 사용하는 것으로 예를 들어 설명한다. 상기 iM30K는 직경이 약 17 μ m인 글래스 버블이고, 상기 S22는 직경이 약 35 μ m인 글래스 버블이다.(S3)
- [0022] 상기 혼합물은, 상기 글래스 버블(12)은 10vol%, 상기 탄소나노튜브(14)는 0.55vol%로 혼합된다.
- [0023] 상기 글래스 버블(12)이 혼합된 혼합물을 응고 및 건조시킨다.(S4) 액체 상태의 혼합물에서 상기 탄소나노튜브(14)를 분산 후 응고 과정(Coagulation)을 거치면, 상기 탄소나노튜브(14)가 분산된 상태가 그대로 유지된다. 상기 응고된 고형물을 오븐에서 건조시킨다. 건조시 온도는 약 110℃이고, 건조시간은 약 12시간이다.
- [0024] 상기 고형물을 열간 프레스를 이용하여 고형물 사이의 공기층을 제거하고 원하는 형상의 복합재로 제조한다. 상기 복합재로 제조하는 공정은 핫 프레스를 이용하는 것으로 예를 들어 설명하며, 약 316℃에서 약 200MPa 조건에서 제조한다.(S5)
- [0025] 상기와 같은 방법으로 제조된 복합재는, 상기 탄소나노튜브(14)가 상기 글래스 버블들(12)에 의해 상기 글래스 버블들(12)사이의 공간에서 밀집되어 분산된다. 따라서, 상기 글래스 버블들(12)이 없는 공간에서 상기 탄소나노튜브(14)가 균일하게 분산되는 경우에 비해, 상기 글래스 버블들(12)사이의 공간에서 상기 탄소나노튜브(14)가 밀집되어 분산되는 경우 전기적 네트워크 형성이 보다 잘 이루어지기 때문에, 열전 성능이 향상될 수 있다.
- [0026] 표 1은 본 발명의 실시예에 따른 복합재에서 탄소나노튜브와 글래스 버블의 함량, 크기에 따른 효과를 측정하기 위한 시편의 종류를 나타낸다.
- [0027] 표 1을 참조하면, 시편 1 내지 시편 3은 상기 글래스 버블(GB)(12)을 첨가하지 않고 상기 탄소나노튜브(CNT)(14)만을 첨가한 것이다. 시편 4 내지 시편 12는, 상기 글래스 버블(12)을 직경이 약 17 μ m인 iM30K를 사용하고, 상기 글래스 버블(12)과 상기 탄소나노튜브(14)의 부피 분율을 변화시킨 것이다. 시편 13 내지 시편 21은, 상기 글래스 버블(12)을 직경이 약 35 μ m인 S22를 사용하고, 상기 글래스 버블(12)과 상기 탄소나노튜브(14)의 부피 분율을 변화시킨 것이다.

표 1

[0028]

Sample #	GB(vol%)	GB(type)	CNT(vol%)
1	0	-	0.27
2	0	-	0.41
3	0	-	0.55
4	10	iM30K	0.27
5	20	iM30K	0.27
6	30	iM30K	0.27
7	10	iM30K	0.41
8	20	iM30K	0.41
9	30	iM30K	0.41
10	10	iM30K	0.55
11	20	iM30K	0.55
12	30	iM30K	0.55
13	10	S22	0.27
14	20	S22	0.27
15	30	S22	0.27
16	10	S22	0.41
17	20	S22	0.41
18	30	S22	0.41
19	10	S22	0.55
20	20	S22	0.55
21	30	S22	0.55

[0029] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편에서 iM30K 글래스 버블 사용시, 글래스 버블과 탄소나노튜브의 부피 분율에 따른 열전도도를 나타낸 그래프이다.

- [0030] 도 4를 참조하면, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 0 내지 10vol%일 때, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.27vol%에서 0.55vol%로 증가할수록 열전도도가 증가하거나 증가하다가 다시 감소하는 성향을 나타낸다. 또한, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 20 내지 30vol%일 때, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.27vol%에서 0.55vol%로 증가할수록 열전도도가 감소하거나 감소하다가 약간 증가하는 경향을 나타낸다. 이 때, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.55vol%이고, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 0vol%일 때 열전도도(k)가 가장 낮은 것을 알 수 있다.
- [0031] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편에서 iM30K 글래스 버블 사용시, 글래스 버블과 탄소나노튜브의 부피 분율에 따른 전기전도도를 나타낸 그래프이다.
- [0032] 도 5를 참조하면, 전기 전도도(σ)는 상기 탄소나노튜브(14)의 함량에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 높을수록 전기적 네트워크 형성이 보다 잘 이루어지기 때문이다. 반면, 전기 전도도(σ)는 상기 글래스 버블(12)의 함량에 영향이 거의 없는 것을 알 수 있다. 이 때, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.55vol%이고, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 30vol%일 때 전기전도도(σ)가 가장 높은 것을 알 수 있다.
- [0033] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편의 마이크로 글래스 버블과 탄소나노튜브의 부피 분율에 따른 제벡 계수를 나타낸 그래프이다.
- [0034] 상기 제벡계수(Seebeck coefficient)는, 온도차에 의해 생긴 전압차를 온도차로 나누어 계산한 값이다. 즉, 온도차에 따른 열기전력을 알 수 있기 때문에 열전성능을 측정하는 중요한 요소이다.
- [0035] 도 6을 참조하면, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.55vol%일 때, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 증가할수록 제벡계수(S)가 감소하는 경향을 나타낸다. 한편, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.41vol%일 때는, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 20vol%일 때 제벡계수(S)가 가장 낮게 나타난다. 또한, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.27vol%일 때는, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 20vol%일 때 제벡계수(S)가 가장 높게 나타난다.
- [0036] 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.55vol%이고, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 10vol%인 경우와, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.27vol%이고, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 20vol%인 경우 제벡계수(S)가 비교적 높게 나타난다.
- [0037] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편의 마이크로 글래스 버블과 탄소나노튜브의 부피 분율에 따른 성능 지수를 나타낸 그래프이다.
- [0038] 도 7을 참조하면, 성능 지수(Figure of merit, zT)가 약 0.01 내지 0.16을 나타낸다. 상기 글래스 버블(12)의 함량이 0vol%일 때, 성능 지수(zT)가 매우 낮은 것을 알 수 있다. 또한, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 10vol%이고, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.55vol%일 때 상기 성능 지수(zT, Z)가 가장 높게 나타난다.

수학적식 1

$$Z = \frac{S^2}{\rho k} = \frac{\sigma S^2}{k}$$

- [0039]
- [0040] 도 6 및 도 7을 참조하면, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 10vol%이고, 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.55vol%일 때, 상기 제벡 계수(S)와 상기 성능 지수(zT)가 모두 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서, 10vol%의 상기 글래스 버블(12)과 0.55vol%의 상기 탄소나노튜브(14)를 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다.
- [0041] 도 8a 내지 도 8c는 본 발명의 실시예에 따른 복합재 시편에서 글래스 버블의 크기에 따른 성능 지수의 나타낸 그래프이다.
- [0042] 도 8a는 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.27vol%일 때, 상기 글래스 버블(12)의 크기와 상기 글래스 버블(12)의 함량에 따른 성능 지수(zT)를 비교하여 나타낸 그래프이다. 도 8a를 참조하면, 직경이 약 17 μ m인 iM30K 글래스 버블이 직경이 약 35 μ m인 S22 글래스 버블보다 성능 지수(zT)가 더 높은 것을 알 수 있다.
- [0043] 도 8b는 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.41vol%일 때, 상기 글래스 버블(12)의 크기와 상기 글래스 버블(12)의 함량에 따른 성능 지수(zT)를 비교하여 나타낸 그래프이다. 도 8b를 참조하면, 직경이 약 17 μ m인 iM30K

글래스 버블이 직경이 약 $35\mu\text{m}$ 인 S22 글래스 버블보다 성능 지수(zT)가 더 높은 것을 알 수 있다.

[0044] 도 8c는 상기 탄소나노튜브(14)의 함량이 0.55vol%일 때, 상기 글래스 버블(12)의 크기와 상기 글래스 버블(12)의 함량에 따른 성능 지수(zT)를 비교하여 나타낸 그래프이다. 도 8c를 참조하면, 상기 글래스 버블(12)의 함량이 20vol%일 때를 제외하고, 직경이 약 $17\mu\text{m}$ 인 iM30K 글래스 버블이 직경이 약 $35\mu\text{m}$ 인 S22 글래스 버블보다 성능 지수(zT)가 더 높은 것을 알 수 있다.

[0045] 도 8a 내지 도 8c를 참조하면, 상기 글래스 버블(12)의 직경이 작을수록 성능 지수(zT)가 더 높게 나타난다.

[0046] 도 9를 참조하면, 상기 글래스 버블(12)의 직경이 클수록 공극률이 커지기 때문에, 상기 글래스 버블들(12) 사이의 간격이 증가된다. 상기 글래스 버블들(12) 사이의 간격이 증가되면, 상기 글래스 버블들(12) 사이의 공간에서 상기 탄소나노튜브(14)의 밀집력이 약해지므로 전기적 네트워크 형성이 보다 낮아지게 되어 성능지수(zT)가 낮아진다.

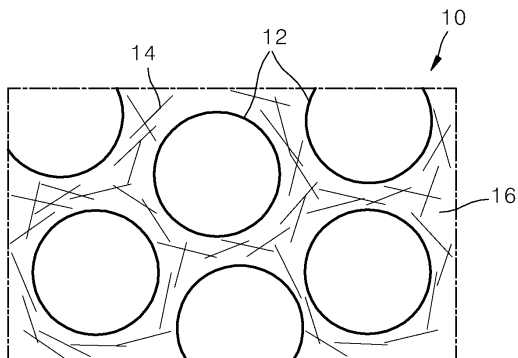
[0047] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

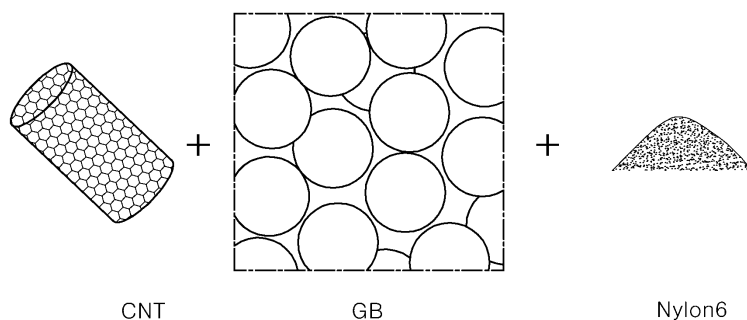
[0048] 10: 복합재 12: 글래스 버블
14: 탄소나노소재

도면

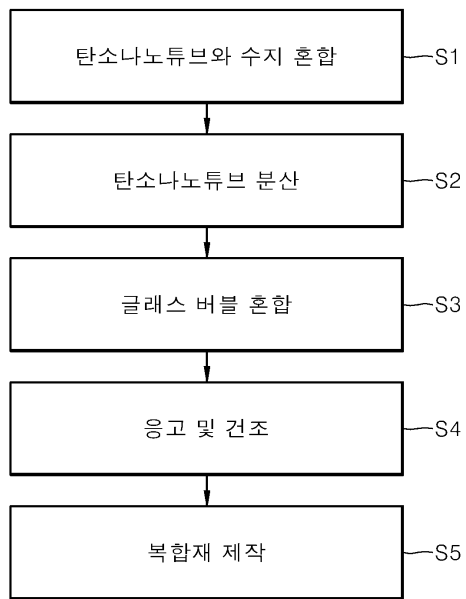
도면1



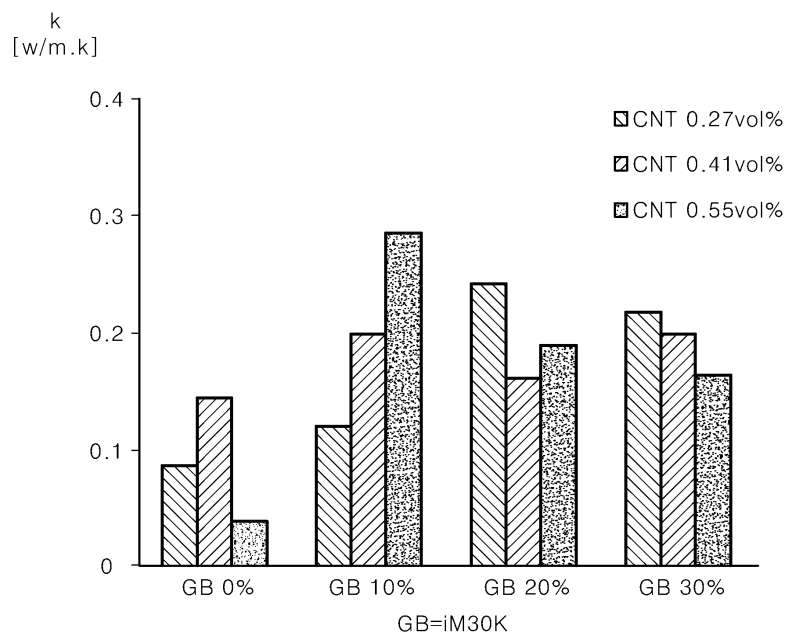
도면2



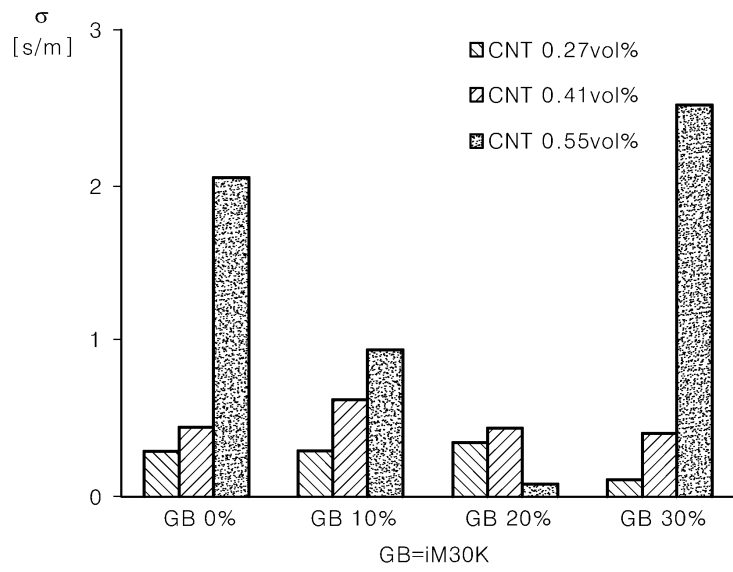
도면3



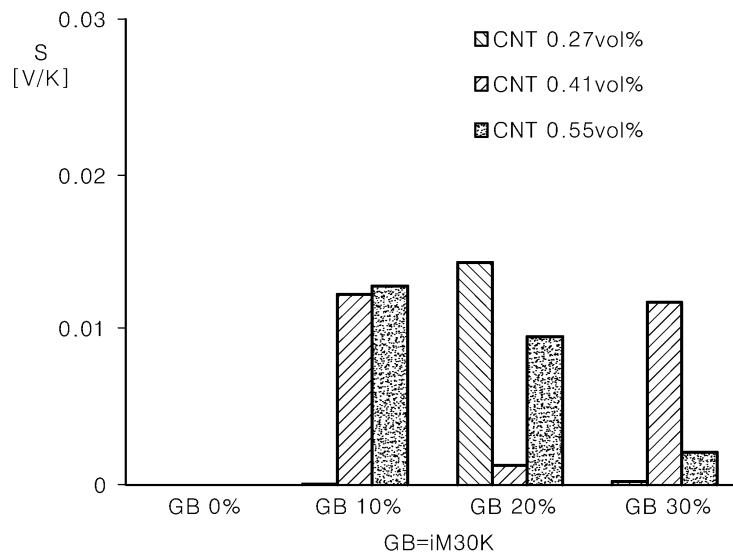
도면4



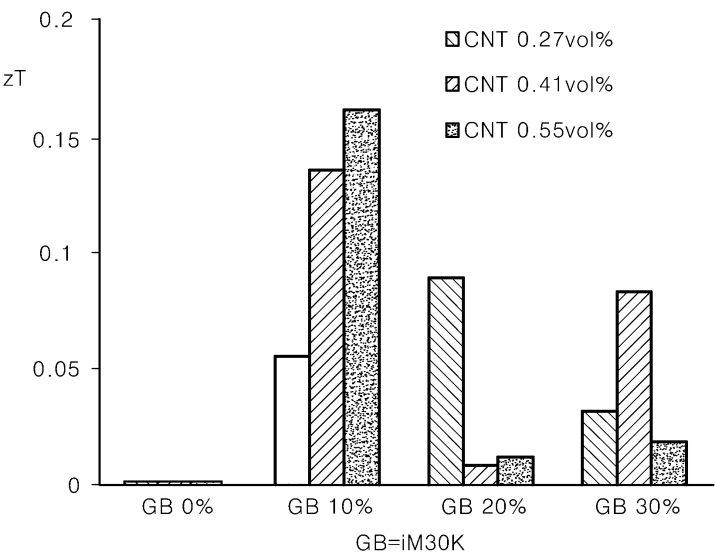
도면5



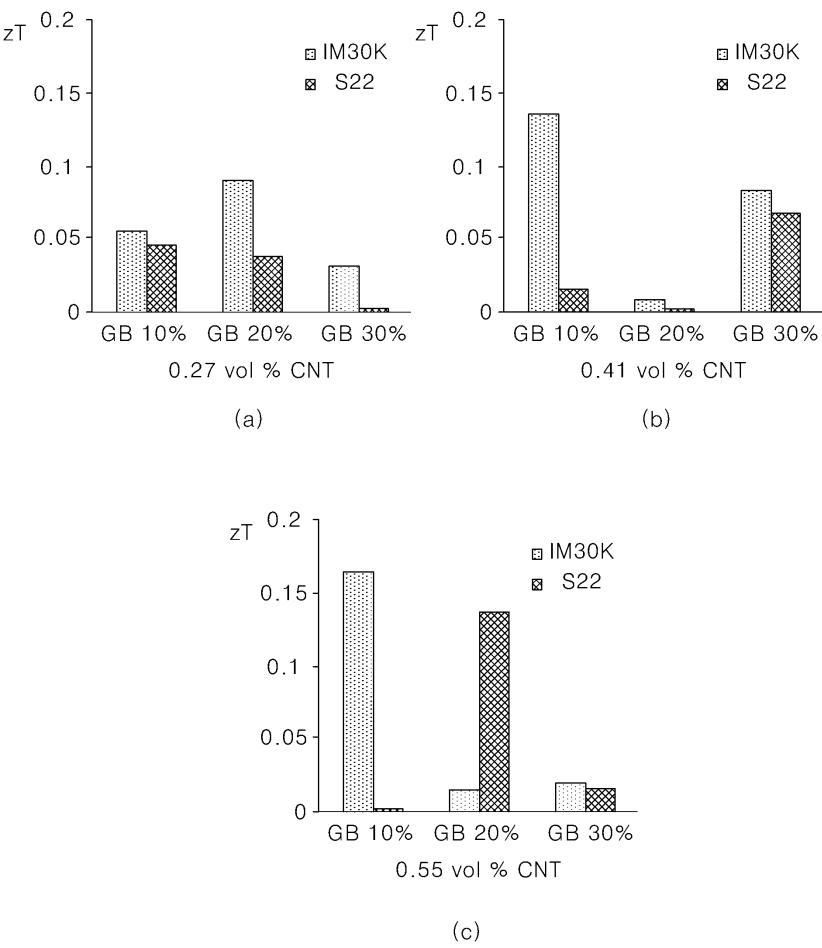
도면6



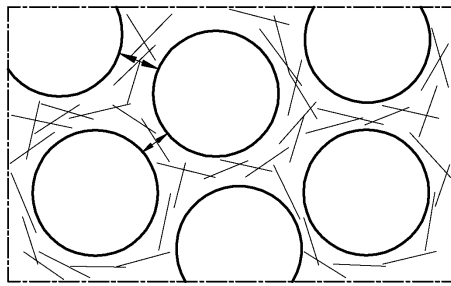
도면7



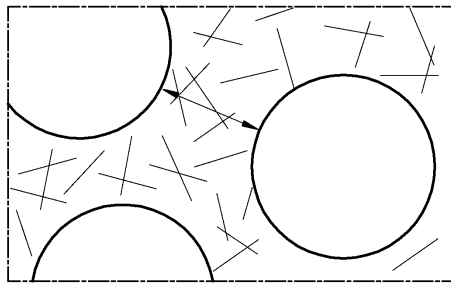
도면8



도면9



(a) GB=17 μ m



(b) GB=35 μ m