



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0079926  
(43) 공개일자 2020년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 35/18 (2006.01) H01L 35/16 (2006.01)  
H01L 35/34 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H01L 35/18 (2013.01)  
H01L 35/16 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0169639  
(22) 출원일자 2018년12월26일  
심사청구일자 2018년12월26일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
한국표준과학연구원  
대전 유성구 가정로 267(가정동, 한국표준과학연구원)  
(72) 발명자  
이규형  
서울특별시 마포구 마포대로20길 26, 109-1201  
신호선  
대전광역시 유성구 반석로142번길 15-37  
(74) 대리인  
노경규

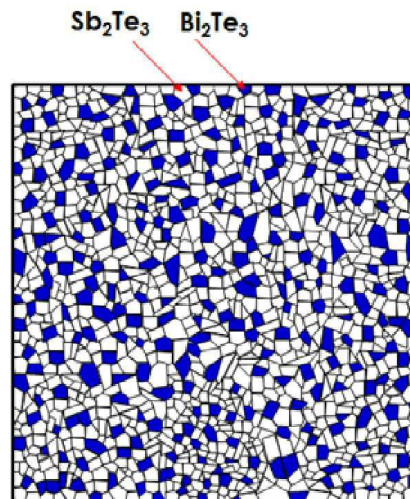
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 P형 복합체형 열전소재 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은  $Sb_2Te_3$  및  $Bi_2Te_3$ 를 포함하는 p형 반도체 특성의 복합체형 열전소재에 관한 것이다. 본 발명의 복합체형 열전소재는  $Sb_2Te_3$  및  $Bi_2Te_3$ 가 고용체를 형성하지 않고 특정 비율로 혼합된 형태로 존재함에 의해  $Sb_2Te_3$  및  $Bi_2Te_3$  간의 상경계가 높은 밀도로 존재하여 캐리어 필터링 효과를 구현하여 증대된 파워팩터를 나타냄과 동시에 계면에서의 포논산란 활성화에 의한 감소된 열전도도를 나타내는 효과로 상용으로 사용되는 고용체형 열전소재와 비교하여 10% 이상 높은 열전성능을 나타낸다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**H01L 35/34** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018-11-0377

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국표준과학연구원

연구사업명 주요사업

연구과제명 열전 벌크 및 열전소자 합성

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2018.03.01 ~ 2018.10.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

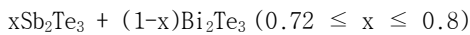
Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 및 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>를 포함하는 p형 반도체 특성의 복합체형 열전소재.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 및 상기 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>를 하기 화학식 1의 비율로 포함하는 것을 특징으로 하는 p형 반도체 특성의 복합체형 열전소재.

<화학식 1>



#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>와 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>의 평균입경이 각각 1μm 이하인 것을 특징으로 하는 복합체형 열전소재.

#### 청구항 4

(1) Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 및 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 원료 잉곳을 각각 합성하는 단계,

(2) 단계 (1)에서 얻어진 원료 잉곳을 분쇄 및 혼합하는 단계, 및

(3) 단계 (2)에서 얻어진 혼합 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계를 포함하는 열전소재의 제조방법.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 단계 (2)는,

상기 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 및 상기 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 원료 잉곳을 평균입경이 1μm이하로 분쇄하는 것을 특징으로 하는 열전소재의 제조방법.

#### 청구항 6

제4항에 있어서,

상기 단계 (3)은,

상기 혼합 분말을 압축하여 성형체를 제조하고, 상기 성형체를 400 내지 580°C의 온도, 4 내지 10MPa의 압력에서 열간압출하는 것을 특징으로 하는 열전소재의 제조방법.

#### 청구항 7

제4항에 있어서,

(4) 상기 압출체를 분쇄하여 분말을 제조하는 단계, 및 (5) 상기 단계 (4)에서 얻어진 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계를 포함하는 열전소재의 제조방법.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 단계 (4) 및 상기 단계 (5)는 1회 또는 2회 이상 반복 수행되는 것을 특징으로 하는 열전소재의 제조방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 복합체형 열전소재 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 열전성능이 향상된 복합체형 열전소재 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 열전현상은 열과 전기 사이의 가역적, 직접적인 에너지 변환 현상을 의미하며, 재료 내부에서 전자와 정공의 이동이 발생하는 현상으로 물질에 가해지는 온도차에 의한 전기에너지 발생현상(Seebeck 효과) 및 역으로 외부에서 부하되는 전기 에너지에 의해 발생하는 물질의 발열현상 또는 흡열현상(Peltier 효과)을 말한다.

[0003] 열전을 이용할 경우, 산업 폐열, 자연열, 체열 등과 같은 다양한 열원을 이용한 전력생산이 가능할 뿐만 아니라, 정밀, 급속 냉각 등이 가능한 미래형 친환경 에너지 변환이 가능하다. 또한, 이를 이용한 열전소자는 열에너지를 전기에너지로, 전기에너지를 열에너지로 직접 변환하는데 사용되며 에너지를 절감할 수 있어 시대적 요구에 가장 잘 부응하는 기술이다.

[0004] 열전소재 및 소자에 관한 연구는 1950년대부터 발전을 거듭하여 불과 수년 사이에 열전성능이 기존의 것에 비해 2~3배 정도 높은 재료들이 개발되었고, 재료로는 Bi-Te, Pb-Te, Si-Ge 및 Fe-Si계 합금을 기본으로 하는 재료가 가장 널리 이용되었다.

[0005] 한국등록특허 10-1533627호는 대량 생산에 적합하면서 열전재료 제조 시에 도펀트의 분산성이 뛰어난, Ag가 부착된 BiSbTe 3원계 열전복합체를 제조하는 방법에 대해 개시하고 있다. 일본공개특허 1998-070317호는 미소하고 실온에서의 발전 효율이 좋은 열전 발전 소자를 제조하기 위해, P형 반도체로서 실온에서 출력 전압이 높은 BiSbTe 화합물을 제시하고 있으며, 일본공개특허 2014-239199호는 100℃이하의 온도에서 높은 열전 변환 성능을 가지는 BiSbTe 화합물을 개시하고 있다.

[0006] 그러나, 종래 열전냉각 및 저온 열전발전에 사용되는 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>계 소재는 Bi자리에 Sb를 치환하거나 Te자리에 Se를 치환한 고용체를 형성하여 사용함으로써 성능이 제한되는 문제가 있었다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 및 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>가 고용체를 형성하지 않고 혼합된 형태로 존재함에 의해, Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 및 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 간의 상경계가 높은 밀도로 존재하여 상용으로 사용되는 고용체형 열전소재와 비교하여 10% 이상 높은 열전성능을 갖는 열전소재를 제공하는 데 있다.

[0008] 본 발명의 또 다른 목적은 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 및 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>가 고용체를 형성하지 않고 복합체 형태로 존재하도록 함으로써, 열전성능을 향상시킬 수 있는 복합체형 열전소재 제조방법을 제공하는 데 있다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 및 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>를 포함하는 p형 반도체 특성의 복합체형 열전소재를 제공한다.

[0010] 상기 복합체형 열전소재는 상기 Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 및 상기 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>를 하기 화학식 1의 비율로 포함할 수 있다.

[0011] <화학식 1>

[0012] xSb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> + (1-x)Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> (0.72 ≤ x ≤ 0.8)

- [0014] 상기  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 와  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 의 평균입경이 각각  $1\mu\text{m}$  이하일 수 있다.
- [0016] 본 발명은 (1)  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  원료 잉곳을 각각 합성하는 단계, (2) 단계 (1)에서 얻어진 원료 잉곳을 분쇄 및 혼합하는 단계, 및 (3) 단계 (2)에서 얻어진 혼합 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계를 포함하는 열전소재의 제조방법을 제공한다.
- [0017] 상기 단계 (2)에서, 상기  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및 상기  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  원료 잉곳은 평균입경이  $1\mu\text{m}$ 이하로 분쇄하는 것이 바람직하다.
- [0018] 상기 단계 (3)은, 상기 혼합 분말을 압축하여 성형체를 제조하고, 상기 성형체를 400 내지  $580^\circ\text{C}$ 의 온도, 4 내지 10MPa의 압력에서 열간압출할 수 있다.
- [0019] 상기 열전소재의 제조방법은, (4) 상기 압출체를 분쇄하여 분말을 제조하는 단계, 및 (5) 상기 단계 (4)에서 얻어진 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0020] 상기 단계 (4) 및 상기 단계 (5)는 1회 또는 2회 이상 반복 수행될 수 있다.

### 발명의 효과

- [0021] 본 발명의 복합체형 열전소재는  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 가 고용체를 형성하지 않고 특정 비율로 혼합된 형태로 존재함에 의해,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  간의 상경계가 높은 밀도로 존재하여 캐리어 필터링 효과를 구현하여 증대된 파워팩터를 나타냄과 동시에 계면에서의 포논산란 활성화에 의한 감소된 열전도도를 나타내는 효과로 인해, 상용으로 사용되는 고용체형 열전소재와 비교하여 10% 이상 높은 열전성능을 나타낸다.

### 도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 복합체형 열전소재의 모식도이다.
- 도 2는 실시예 1 및 비교예 1에 대한 전기전도도를 나타낸 그래프이다.
- 도 3은 실시예 1 및 비교예 1에 대한 제백계수를 나타낸 그래프이다.
- 도 4는 실시예 1 및 비교예 1에 대한 열전도도를 나타낸 그래프이다.
- 도 5는 실시예 1 및 비교예 1에 대한 열전성능 ZT를 나타낸 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하도록 한다.
- [0024] 그러나, 이하의 설명은 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0025] 본원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0026] 또한, 이하에서 사용될 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0027] 또한, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 "형성되어" 있다거나 "적층되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소의 표면 상의 전면 또는 일면에 직접 부착되어 형성되어 있거나 적층되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른

구성요소가 더 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

- [0029] 본 발명의 일 구현예에 따라  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 가 고용체를 형성하지 않고 혼합된 형태로 존재하는 복합체형 열전 소재가 제공된다.
- [0030] 열전소재의 성능은 ZT로 표현되며, ZT는 전기전도도와 제백계수의 제곱을 곱한 값(이를 파워팩터라 함)을 열전도도로 나누고 절대온도를 곱한 값으로 정의된다. 따라서 파워팩터를 증대하거나 열전도도를 저감하는 것에 의해 열전소재의 성능 ZT를 증대할 수 있다.
- [0031] 상기 복합체형 열전소재는  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 가 복합체의 형태로 존재함에 의해, 도 1의 모식도에 나타난 것과 같이  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 간의 상경계가 형성된다. 따라서 상기 상경계에서의 포논산란 증가로 열전도도를 저감할 수 있다. 또한, 상기 상경계는 에너지 상태가 서로 다른 물질로 형성되어 상경계에서의 밴드 휨 효과로 특정 에너지의 전자 또는 홀이 산란되는 캐리어 필터링 효과가 얻어질 수 있다. 이러한 캐리어 필터링 효과에 의하여 파워팩터가 증가될 수 있다. 아울러, 계면에서의 포논산란 활성화에 의한 감소된 열전도도를 나타내는 효과로 인해, 상용으로 사용되는 고용체형 열전소재와 비교하여 10% 이상 높은 열전성능을 나타낸다.
- [0033] 상기 복합체형 열전소재는 하기 화학식 1에 나타난 비율로  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 를 포함하는 것이 바람직하다.
- [0034] <화학식 1>
- [0035]  $x\text{Sb}_2\text{Te}_3 + (1-x)\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ( $0.72 \leq x \leq 0.8$ )
- [0036] 상기 조성 범위의 상한을 초과하거나 하한을 미달하는 경우에는 전하농도가 과도하게 높거나 과도하게 낮아서 충분한 열전 성능을 나타내기 어렵다.
- [0037] 상기 복합체형 열전소재에서  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 의 평균입경은 각각  $1\mu\text{m}$  이하인 것이 바람직하다. 상기 수치를 초과하는 경우 충분한 상경계를 형성할 수 없어 바람직하지 못하다.
- [0039] 또한, 본 발명의 일 구현예에 따라, (1)  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  원료 잉곳을 각각 합성하는 단계, (2) 단계 (1)에서 얻어진 원료 잉곳을 분쇄 및 혼합하는 단계, 및 (3) 단계 (2)에서 얻어진 혼합 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계를 포함하는 열전소재의 제조방법이 제공된다.
- [0040] 또한, 본 발명의 일 구현예에 따라, (1)  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  원료 잉곳을 각각 합성하는 단계, (2) 단계 (1)에서 얻어진 원료 잉곳을 분쇄 및 혼합하는 단계, (3) 단계 (2)에서 얻어진 혼합 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계, (4) 단계 (3)에서 얻어진 압출체를 분쇄하여 분말을 제조하는 단계, 및 (5) 단계 (4)에서 얻어진 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계를 포함하는 열전소재의 제조방법이 제공된다.
- [0041] 또한, 본 발명의 일 구현예에 따라, (1)  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  원료 잉곳을 각각 합성하는 단계, (2) 단계 (1)에서 얻어진 원료 잉곳을 분쇄 및 혼합하는 단계, (3) 단계 (2)에서 얻어진 혼합 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계, (4) 단계 (3)에서 얻어진 압출체를 분쇄하여 분말을 제조하는 단계, (5) 단계 (4)에서 얻어진 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계, 및 단계 (4)와 단계 (5)의 반복 과정을 포함하는 열전소재의 제조방법이 제공된다.
- [0043] 구체적으로, 열전소재 제조를 위한 원료 금속(Sb, Te)을 Sb:Te = 2:3 비율로 칭량한 후 석영 튜브에 넣고 진공 실링한 후 용융하여 잉곳 형태의  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  원료 합금을 제조할 수 있다. 또한 열전소재 제조를 위한 원료 금속(Bi, Te)을 Bi:Te = 2:3 비율로 칭량한 후 석영 튜브에 넣고 진공 실링한 후 용융하여 잉곳 형태의  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  원료 합금을 제조할 수 있다.
- [0044] 상기 각각 합성한  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  잉곳을 하기 화학식 1에 나타난 비율로 혼합하는 것이 바람직하다.

- [0045] <화학식 1>
- [0046]  $x\text{Sb}_2\text{Te}_3 + (1-x)\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ( $0.72 \leq x \leq 0.8$ )
- [0047] 상기 잉곳 제조를 위한 용융 공정은 800 내지 1200°C에서 1 내지 5시간 용융하는 것이 바람직하며, 용융 공정 후 상온으로 냉각하여 잉곳을 제조할 수 있다.
- [0049] 용융 공정의 온도가 상기 상한을 초과하는 경우 석영 튜브가 버티지 못하며, 상기 하한을 미달하는 경우에는 용융이 잘 이루어지지 않아 바람직하지 못하다.
- [0050]  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  잉곳과  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  잉곳으로 부터 화학식 1의 비율로 절단한  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 과  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  덩어리를 제조할 수 있다.  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 과  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  덩어리를 볼밀을 이용하여 분쇄 및 혼합함에 의해  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 가 특정 비율로 혼합된 분말을 합성할 수 있다.
- [0051] 상기 분쇄 및 혼합은 볼밀, 막자사발 등을 이용하여 분쇄될 수 있으나, 반드시 이들로 한정되지 않으며, 분쇄에 의해 하여 분말을 제조하는 방법으로서 당해 기술분야에서 사용할 수 있는 것이라면 모두 가능하다.
- [0052] 상기 단계(3)은 단계(2)에서 얻어진 혼합 분말을 열간압출하여 압출체를 제조하는 단계이다.
- [0053] 상기 열간압출은 통상적으로 사용되는 공정에 의하여 수행될 수 있다. 구체적으로, 혼합 분말을 disc 형태로 압축한 성형체를 제조하고 고온, 예를 들어 약 400 내지 580°C 및 고압, 예를 들어 약 4 내지 10MPa에서 열간압출하는 방법에 의하여 제조할 수 있다.
- [0055] [실시예]
- [0056] 실시예:  $x\text{Sb}_2\text{Te}_3 + (1-x)\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ( $0.72 \leq x \leq 0.8$ ) 압출체 제조
- [0057] 원료 금속 Sb와 Te를 2:3의 비율로 칭량하여 석영 튜브에 넣고, 진공 실링한 후 1000°C에서 3시간 용융한 다음 냉각하여  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  원료 잉곳을 제조하였다. 또한 원료 금속 Bi와 Te를 2:3의 비율로 칭량하여 석영 튜브에 넣고, 진공 실링한 후 1000°C에서 3시간 용융한 다음 냉각하여  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  원료 잉곳을 제조하였다.
- [0058]  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  원료 잉곳을 볼밀을 이용하여 혼합 및 분쇄하여 분말을 제조하고, 얻어진 분말을 disc 형태로 압축한 성형체를 제조하고 500°C의 5.5MPa에서 열간압출하여 압출체를 제조하였다.  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  원료 잉곳의 분쇄 및 혼합시  $x\text{Sb}_2\text{Te}_3 + (1-x)\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 에서 x의 비율을 조절하면서 다양한 비율의 압출체를 제조하였다.
- [0060] 비교예:  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  압출체 제조
- [0061] 원료 금속 Bi, Sb, Te를 0.5:1.5:3의 비율로 칭량하여 석영 튜브에 넣고, 진공 실링한 후 1000°C에서 3시간 용융한 다음 냉각하여  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  원료 잉곳을 제조하였다.
- [0062]  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  원료 잉곳을 볼밀을 이용하여 분쇄하여 분말을 제조하고, 얻어진 분말을 disc 형태로 압축한 성형체를 제조하고 500°C의 5.5MPa에서 열간압출하여 압출체를 제조하였다.
- [0064] [시험예]
- [0066] 시험예 1: 전기전도도 측정
- [0067] 실시예 1 및 비교예 1에 따라 제조된 열전소재의 전기전도도를 측정하여 도 2에 나타내었다.  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  및  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$



원

[0068] 도 2를 참조하면, 실시예 1에서 제조한  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 와  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  혼합 열전소재의 전기전도도는 혼합체의  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  비율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타낸다. 이는  $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$  고용체에서도 동일하게 나타나는 경향으로 Sb 비율 증가에 따라 홀농도가 증가하기 때문이다. 이에 따라 도 2에서 나타난 바와 같이  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ 의 전기전도도는 동일한 Sb를 포함하고 있는  $0.75\text{Sb}_2\text{Te}_3 + 0.25\text{Bi}_2\text{Te}_3$  혼합소재와 거의 동일한 값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

[0069]

[0070] 시험예 2: 제백계수 측정

[0071] 실시예 1 및 비교예 1에 따라 제조된 열전소재의 제백계수를 측정하여 도 3에 나타내었다.

[0072] 도 3을 참조하면, 실시예 1에서 제조한  $0.75\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 와  $0.25\text{Bi}_2\text{Te}_3$  혼합 열전소재의 제백계수는 동일한 Sb를 포함하고 있는 비교예 1에서 제조한  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ 의 고용체 열전소재와 비교하여 큰 제백계수를 나타낸다. 이러한 결과로 부터 혼합 열전소재에  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 와  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  간의 상경계가 높은 밀도로 존재하여 캐리어 필터링 효과를 구현하여 증대된 제백계수를 나타내는 것을 알 수 있다.

[0074] 시험예 3: 열전도도 측정

[0075] 실시예 1 및 비교예 1에 따라 제조된 열전소재의 열전도도를 측정하여 도 4에 나타내었다.

[0076] 도 4를 참조하면, 실시예 1에서 제조한  $0.75\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 와  $0.25\text{Bi}_2\text{Te}_3$  혼합 열전소재의 열전도도는 동일한 Sb를 포함하고 있는 비교예 1에서 제조한  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ 의 고용체 열전소재와 비교하여 낮은 열전도도를 나타낸다. 이러한 결과로 부터 혼합 열전소재에  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 와  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  간의 상경계가 높은 밀도로 존재하여 계면 포논산란 활성화로 저감된 열전도도를 나타내는 것을 알 수 있다.

[0078] 시험예 4: 열전성능 ZT 측정

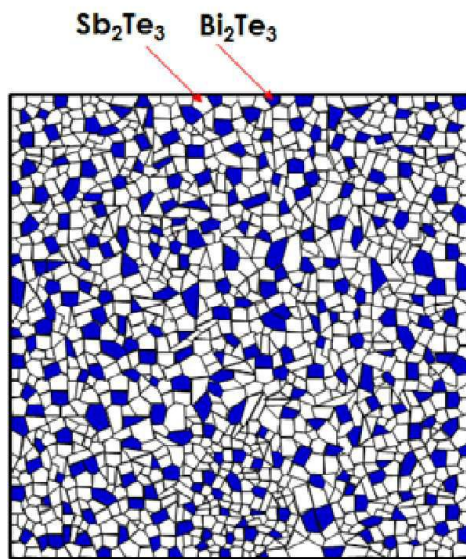
[0079] 실시예 1 및 비교예 1에 따라 제조된 열전소재의 열전성능 ZT를 측정하여 도 5에 나타내었다.

[0080] 도 5를 참조하면, 실시예 1에서 제조한  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 와  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  혼합 열전소재는  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 와  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  간의 상경계가 높은 밀도로 존재하여 캐리어 필터링 효과를 구현하여 증대된 제백계수를 나타내며, 이와 동시에  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 와  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  간의 상경계가 높은 밀도로 존재하여 계면 포논산란 활성화로 저감된 열전도도를 나타내어  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  고용체 열전소재와 비교하여 10% 이상 증대된 ZT를 나타내는 것을 알 수 있다.

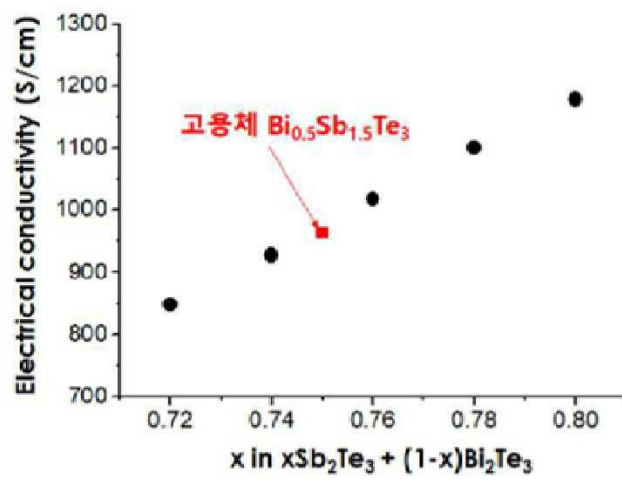


도면

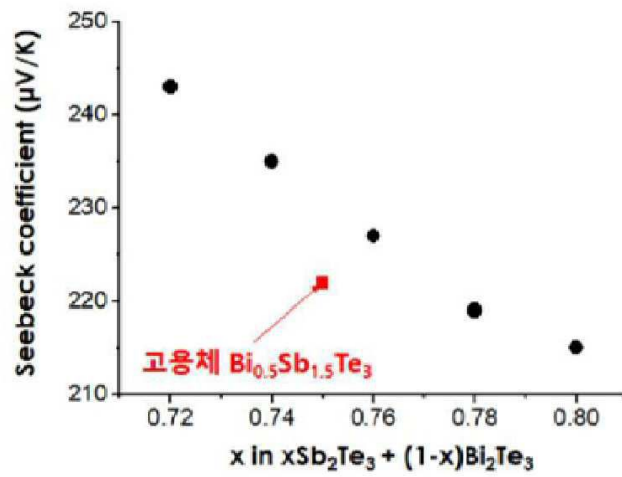
도면1



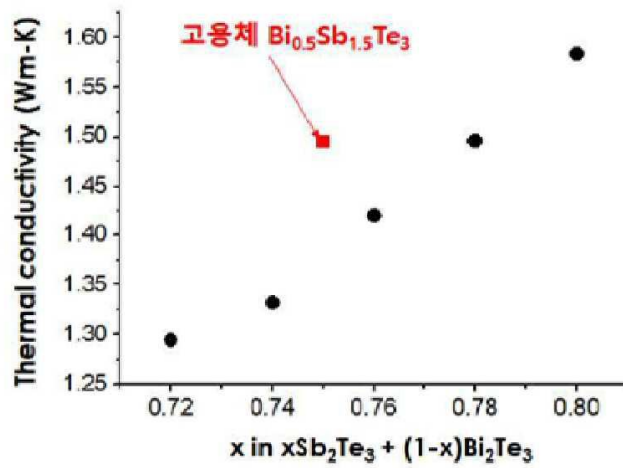
도면2



도면3



도면4



도면5

