



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년10월13일  
(11) 등록번호 10-1785201  
(24) 등록일자 2017년09월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C01G 19/02 (2006.01) C01G 15/00 (2006.01)  
C09K 5/14 (2006.01) H01B 1/02 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
C01G 19/02 (2013.01)  
C01G 15/00 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2016-0049141  
(22) 출원일자 2016년04월22일  
심사청구일자 2016년04월22일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR101494612 B1\*  
JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, 158  
(8) J231-J235 (2011)\*  
KR1020120039799 A  
US20150056116 A1  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
부경대학교 산학협력단  
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,  
부경대학교)  
(72) 발명자  
임영수  
부산광역시 수영구 광안해변로15번길 68  
(74) 대리인  
남건필, 박종수, 차상윤

전체 청구항 수 : 총 6 항

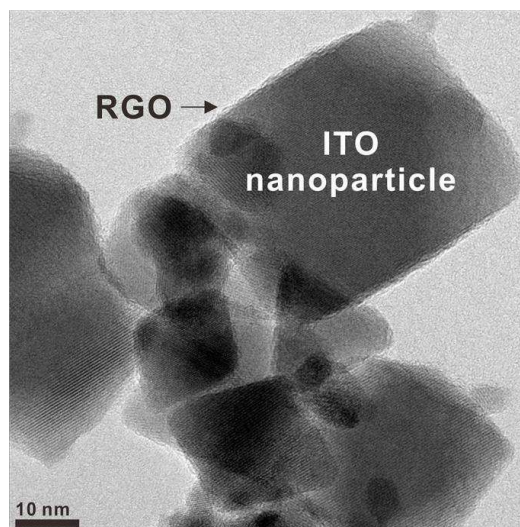
심사관 : 강민구

(54) 발명의 명칭 환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 인듐 주석 산화물 나노 입자와 그래핀 산화물을 분산용매에서 혼합 및 분산시켜 상기 그래핀 산화물이 상기 인듐 주석 산화물 나노입자 표면에 코팅되게 하는 단계; 상기 분산용매의 혼합물에 환원제를 첨가하여 그래핀 산화물을 환원시키는 단계; 상기 액상 혼합물에 액체와 입자를 분리하여 환원된 그래핀 산화물이 코팅된 인듐 주석 산화물 나노 입자를 얻는 단계; 및 환원된 그래핀 산화물이 코팅된 인듐 주석 산화물 나노 입자를 소결하여 결정화하는 단계를 포함하는, 환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체를 제조하는 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**C09K 5/14** (2013.01)

**H01B 1/02** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015R1A2A2A01005929

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업(핵심-개인)

연구과제명 고온안정성이 우수하며 구조적으로 다결정-전기적으로 단결정인 그래핀 복합 열전 복합소

재

기 여 율 1/1

주관기관 부경대학교

연구기간 2015.05.01 ~ 2016.04.30

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

인듐 주석 산화물 나노 입자와 그래핀 산화물을 분산용매에서 혼합 및 분산시켜 상기 그래핀 산화물이 상기 인듐 주석 산화물 나노입자 표면에 코팅되게 하는 단계;

상기 분산용매의 혼합물에 환원제를 첨가하여 그래핀 산화물을 환원시키는 단계;

그래핀 산화물의 환원 공정 후에 액체와 입자를 분리하여, 환원된 그래핀 산화물이 코팅된 인듐 주석 산화물 나노 입자를 얻는 단계;

환원된 그래핀 산화물이 코팅된 인듐 주석 산화물 나노 입자를 이용하여, 알루미늄 분말/환원된 그래핀 산화물이 코팅된 인듐 주석 산화물 나노입자/알루미늄 분말 순으로 적층된 샌드위치 구조체를 형성하는 단계; 및

상기 샌드위치 구조체에 대해서 소결 공정을 수행하여 결정화시키는 단계를 포함하되,

상기 결정화시키는 단계에서 환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체가 제조되고,

상기 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체의 300K 내지 900K의 온도 범위에서의 전기 전도도는 3,000 내지 4,000 S/cm인 동시에 제백(Seebeck) 상수는 -25 내지 -50  $\mu\text{V/K}$ 인 것을 특징으로 하는,

환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체를 제조하는 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 분산용매는 물, N-메틸피롤리돈, 디메틸포름아마이드, 디메틸아세트아마이드, 디메틸 술폰사이드, 클로로포름, 디클로메탄, 에탄올, 메탄올, 헥산, 헵탄, 에틸아세테이트, 카본디설파이드, 벤젠, 톨루엔, 디클로로벤젠, 사염화탄소, 아세톤, 테트라히드로푸란, 아세트산 및 포름산으로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상의 용매인 것을 특징으로 하는,

환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체를 제조하는 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 환원제는 히드라진 또는 히드라진 유도체임을 특징으로 하는

환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체를 제조하는 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 소결은 방전 플라즈마 소결법임을 특징으로 하는,

환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체를 제조하는

방법.

## 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 인듐 주석 산화물 나노입자와 상기 그래핀 산화물은 92:8 ~ 99.9:0.1의 중량비로 분산됨을 특징으로 하는, 환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체를 제조하는 방법.

## 청구항 6

청구항 1의 방법에 따라 제조되고, 환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체를 포함하는 전기전도체.

## 청구항 7

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 대표적인 탄소계 나노물질인 그래핀을 이용한 계면 제어 효과를 통해 인듐 주석 산화물의 전하 전송 특성을 향상시켜 높은 전기전도도와 단결정 수준의 이동도를 가지는 나노복합체를 제조하는 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 인듐 주석 산화물은 대표적인 투명 전도성 산화물로서 우수한 전기적, 광학적 특성을 가지고 있기 때문에 센서, 전계 효과 트랜지스터, 배터리 전극, 투명 전극, 발광 다이오드, 디스플레이 등의 영역에서 많은 연구가 이루어졌다.

[0003] 이러한 다양한 응용을 위하여 높은 전기전도도를 가지는 인듐 주석 산화물의 개발이 요구됨에 따라 본 발명에서는 인듐 주석 산화물 나노입자와 환원된 그래핀 산화물을 이용해 높은 전기전도도를 가지는 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체를 제작하였다. 본 발명을 통해 제작된 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체는 환원된 그래핀 산화물을 이용한 계면 제어를 통해 전자의 결정립계 산란(grain boundary scattering)의 원인이 되는 쇼트키 배리어 (Schottky barrier)를 감소시켜 전하 전송 특성을 향상시키는 특징을 가진다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0004] 높은 전기전도도를 가지는 그래핀 나노복합체의 개발이 요구됨에 따라 본 발명에서는 인듐 주석 산화물 나노입자와 환원된 그래핀 산화물을 이용하여 높은 전기전도도를 가지는 나노복합체를 제조하는 방법을 제시한다.

#### 과제의 해결 수단

[0005] 일 측면으로서, 본 발명은, 인듐 주석 산화물 나노 입자와 그래핀 산화물을 분산용매에서 혼합 및 분산시켜 상기 그래핀 산화물이 상기 인듐 주석 산화물 나노입자 표면에 코팅되게 하는 단계; 상기 분산용매의 혼합물에 환원제를 첨가하여 그래핀 산화물을 환원시키는 단계; 상기 액상 혼합물에 액체와 입자를 분리하여 환원된 그래핀 산화물이 코팅된 인듐 주석 산화물 나노 입자를 얻는 단계; 및 환원된 그래핀 산화물이 코팅된 인듐 주석 산화물 나노 입자를 소결하여 결정화하는 단계를 포함하는, 환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체를 제조하는 방법을 제공한다.

- [0006] 나노 크기라 함은 1~1,000nm의 크기를 의미하는 것으로 사용하고, 나노입자로 함은 1~1,000nm 크기의 입경을 갖는 입자를 의미하는 것으로 사용한다.
- [0007] 상기 분산용매는 물, N-메틸피롤리돈, 디메틸포름아마이드, 디메틸아세트아마드, 디메틸 술폭사이드, 클로로포름, 디클로메탄, 에탄올, 메탄올, 헥산, 헵탄, 에틸아세테이트, 카본디설파이드, 벤젠, 톨루엔, 디클로로벤젠, 사염화탄소, 아세톤, 테트라히드로푸란, 아세트산 및 포름산으로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상의 용매일 수 있다. 바람직하게는 분산성을 높이기 위해 디메틸포름아마이드를 사용할 수 있다.
- [0008] 분산의 효율을 높이기 위해, 초음파 처리하는 단계를 추가로 포함할 수 있다.
- [0009] 그래핀 산화물의 양 너무 많아지면 소결 후 나노복합체의 심각한 밀도 저하로 인해 전기적 특성에서 손해를 보기 때문에, 상기 인듐 주석 산화물 나노입자와 상기 그래핀 산화물은 92:8 ~ 99.9:0.1의 중량비로 분산시키는 것이 바람직하다.
- [0010] 상기 환원제는 그래핀옥사이드의 화학적 환원을 위한 것으로서, 바람직하게는 히드라진 또는 히드라진 유도체일 수 있다.
- [0011] 환원 후 구조적 안정화를 위해 상기 반응이 이루어진 결과물을 에이징(aging) 시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 액체와 입자의 분리는 다양한 방법을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 원심분리방법에 의할 수 있다.
- [0013] 분리하여 얻은 환원된 그래핀 산화물이 코팅된 인듐 주석 산화물 나노입자를 소결 전에 건조하는 단계를 추가할 수 있다.
- [0014] 상기 소결 방법은 다양한 방법에 의할 수 있으며, 바람직하게는 진공 분위기에서 900~1000℃의 온도로 30~50MPa의 압력을 가하여 3~5분 동안 방전 플라즈마 소결을 시키는 것이 바람직하다.
- [0015] 인듐과 주석은 낮은 녹는점을 가지는 금속으로서 높은 온도에서 소결시 휘발되는 문제점을 가지고 있기 때문에 이를 방지하기 위해 알루미늄 분말-인듐 주석 산화물 나노입자-알루미늄 분말과 같은 샌드위치 구조를 만들어 소결을 진행하는 것이 바람직하다. 알루미늄 분말의 소결 온도는 인듐 주석 산화물의 소결 온도보다 현저히 높기 때문에 인듐 주석 산화물의 소결 거동에는 전혀 영향을 끼치지 않는다.
- [0016] 다른 측면으로서, 본 발명은 환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 인듐 주석 산화물 복합체를 포함하는 전기전도체를 제공한다. 본 발명의 전기전도체는 단결정 인듐 주석 산화물 수준의 전하 이동도를 가진다.
- [0017] 또 다른 측면으로서, 환원된 그래핀 산화물이 인듐 주석 산화물 입계면 상에 위치하는 다결정형 주석 산화물 복합체를 포함하는 열전소재를 제공한다. 인듐 주석 산화물을 그 자체는 열전소재로 사용할 수 없는 정도의 열전 특성을 보이나, 본 발명의 복합체는 향상된 열전특성을 보인다.

### 발명의 효과

- [0018] 본 발명에 의하면, 인듐 주석 산화물 나노복합체의 결정립계에 존재하는 환원된 그래핀 산화물이 결정립계에 트랩된 전자(trapped electron)를 방출시키기 때문에 쇼트키 배리어(Schottky barrier)가 감소하여 단결정 인듐 주석 산화물 수준의 전하 이동도를 가지는 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체를 제작할 수 있다.
- [0019] 본 발명에 의해 제조된 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체는 퍼콜레이트(percolate)된 그래핀 네트워크만을 통하여 전하가 전도되는 것이 아니라, 인듐 주석 산화물 결정립계 내에 존재하는 트랩(trap)된 전자를 그래핀을 통해 방출시킴으로써 결정립계 산란의 원인이 되는 쇼트키 배리어(Schottky barrier)를 감소시켜 전하 전송 특성이 향상될 수 있다.
- [0020] 또한 환원된 그래핀 산화물을 이용한 인듐 주석 산화물의 계면 제어를 통해 단결정 인듐 주석 산화물의 이동도와 비슷한 값을 가지는 우수한 전하 전송 특성을 나타내는 산화물 나노복합체를 제조하는 방법을 제공함에 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 복합 분말을 보여주는 투과전자현미경(transmission electron microscope; TEM) 사진이다.
- 도 2는 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체에서 결정립계에 재하는 환원된 그래핀 산화물을 보여주는 투과전자현미경(transmission electron microscope; TEM) 사진이다.
- 도 3은 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체에 대한 상온에서의 이동도(mobility)를 나타낸 도면이다.
- 도 4는 인듐 주석 산화물 나노복합체와 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 온도에 따른 캐리어농도(carrier concentration) 변화를 보여주는 도면이다.
- 도 5는 인듐 주석 산화물 나노복합체와 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 온도에 따른 이동도(mobility) 변화를 보여주는 도면이다.
- 도 6은 인듐 주석 산화물 나노복합체와 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 온도에 따른 전기전도도(electrical conductivity) 변화를 보여주는 도면이다.
- 도 7은 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 제벡계수(Seebeck coefficient)를 보여주는 도면이다.
- 도 8은 피사렌코 관계(Pisarenko relation)를 이용하여 계산한 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 상태밀도 유효질량(DOS effective mass)을 나타낸 도면이다.
- 도 9는 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 상태밀도 유효질량(DOS effective mass)을 나타낸 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0023] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로서 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0024] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0025] 이하에서, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 제조방법을 더욱 구체적으로 설명한다.

### 실시예 1

- [0026] 인듐 주석 산화물 나노입자와 그래핀 산화물을 디메틸포름아미드 200 ml에 분산시킨 후 5분간 교반한 후 하이드라진 1수화물을 첨가하여 히팅 맨틀에서 80℃에서 1시간 동안 반응시켜 그래핀 산화물을 화학적 환원시켜 환원된 그래핀 산화물로 만들었다. 그래핀 산화물의 양은 1 wt%로 조절하였다. 하지만 첨가되는 그래핀 산화물의 양이 위와 같이 제한되는 것은 아니다. 반응이 끝난 용액은 구조 안정화를 위해 상온에서 24시간 동안 에이징시킨 후 10000rpm에서 10분간 원심분리시켜준 후 40℃에서 24시간 동안 진공 오븐에서 건조시켜 최종적으로 인듐

주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 복합 분말을 얻는다. 도 1은 인듐 주석 산화물 나노입자 표면에 코팅된 화학적으로 환원된 그래핀 산화물을 보여주는 투과전자현미경 사진이다. 인듐 주석 산화물 나노입자 표면에 코팅된 환원된 그래핀 산화물이 여러 층으로 이루어져 있는 것을 관찰할 수 있다.

[0027] 합성된 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 복합 분말을 방전 플라즈마 소결법으로 소결하여 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체를 합성하였다. 소결 공정은 고온과 진공 분위기 하에서 진행되기 때문에 소결체를 제작하는 것뿐만 아니라 1차로 하이드라진 1수화물을 이용해 화학적 환원된 그래핀 산화물을 2차로 열적 환원시키는 효과도 동시에 기대할 수 있다. 화학적·열적 환원된 그래핀 산화물은 전기적으로 그래핀과 유사한 성질을 가지고 있다. 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체를 제작하기 위해 분당 100℃의 승온 속도로 900℃에서 소결을 진행하였다. 소결 시간과 소결 압력은 각각 3분과 30MPa로 설정하였다.

[0028] 인듐과 주석은 낮은 녹는점을 가지는 금속으로서 높은 온도에서 소결시 휘발되는 문제점을 가지고 있기 때문에 이를 방지하기 위해 알루미늄 분말-인듐 주석 산화물 나노입자-알루미늄 분말과 같은 샌드위치 구조를 만들어 소결을 진행하는 것이 바람직하다. 알루미늄 분말의 소결 온도는 인듐 주석 산화물의 소결 온도보다 현저히 높기 때문에 인듐 주석 산화물의 소결 거동에는 전혀 영향을 끼치지 않는다. 소결이 끝난 후 로냉시켜 최종적으로 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체를 얻었다.

[0029] 도 2는 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체 투과전자현미경 사진이다. 2개의 인듐 주석 산화물 결정립 사이의 결정립계에 환원된 그래핀 산화물이 존재하고 있는 것을 관찰할 수 있다.

## 실시예 2

[0030] 본 발명의 복합체의 성능 평가를 위한 대조군으로서 인듐 주석 산화물 나노 복합체를 제조하였다. 실시예 1에서 그래핀산화물과의 혼합 및 그래핀산화물의 환원 단계를 제외하고 실시예 1의 방법과 동일하게 인듐 주석 산화물 나노복합체를 제조하였다.

[0031] 도 3는 실시예 2에서 제조한 인듐 주석 산화물 나노복합체와 실시예 1에서 제조한 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 복합체의 상온에서의 이동도를 나타낸 것이다. 비교를 위해 단결정 인듐 주석 산화물에서의 전하 전송 특성을 나타내는 브룩스-헤링-딩글 (Brooks-Herring-Dingle) 모델을 통해 계산된 이동도 값을 함께 비교하여 나타내었다.

[0032] 실시예2의 인듐 주석 산화물 나노복합체의 경우 결정립계 산란으로 인해 브룩스-헤링-딩글 모델이 나타내는 단결정 인듐 주석 산화물의 이동도와 비교했을 때 현저히 낮은 이동도 값을 나타내었지만, 실시예 1의 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 이동도는 환원된 그래핀 산화물의 첨가를 통해 단결정과 비슷한 이동도가 나노복합체에서 구현됨을 알 수 있었다. 결과적으로 환원된 그래핀 산화물을 통해 단결정 인듐 주석 산화물에 준하는 전하 전송 특성을 가지는 나노복합체를 합성하여 환원된 그래핀 산화물이 첨가되지 않은 경우에 비해 전기전도도를 비약적으로 상승시킬 수 있었다.

[0033] 도 4는 실시예 2의 인듐 주석 산화물 나노복합체와 실시예 1의 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 온도에 따른 캐리어 농도를 나타낸다. 두 나노복합체의 캐리어 농도는 크게 차이가 나지 않는 경향을 보인다.

[0034] 도 5는 실시예 2의 인듐 주석 산화물 나노복합체와 실시예 1의 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 온도에 따른 이동도를 나타낸다. 환원된 그래핀 산화물을 이용한 인듐 주석 산화물의 계면 제어가 결정립계에 존재하는 트랩된 전자들의 배열에 영향을 미치기 때문에 쇼트키 배리어의 높이가 감소하게 됨으로써 이동도가 증가하는 것으로 보인다. 인듐 주석 산화물의 이동도는 매시슨의 규칙(Matthiessen's rule)에 의해 크게 결정립계 산란, 이온화된 불순물 산란, 포논 산란의 영향으로 결정지어지는데, 일반적으로 나노복합체에서는 결정립계에 의해 주로 전자가 산란된다. 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체에서는 쇼트키 배리어의 감소로 결정립계 산란의 영향이 줄어들기 때문에 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 이동도가 인듐 주석 산화물 나노복합체에 비해 증가되고 단결정 인듐 주석 산화물에 준하는 이동도 값을 가지게 되는 것으로 보인다.

[0035] 도 6은 실시예 2의 인듐 주석 산화물 나노복합체와 실시예 1의 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 온도에 따른 이동도를 나타낸다. 환원된 그래핀 산화물을 이용한 계면 제어를 통해 향상된 이동도로 인해 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 전기전도도 또한 향상된 양상을 보인다.

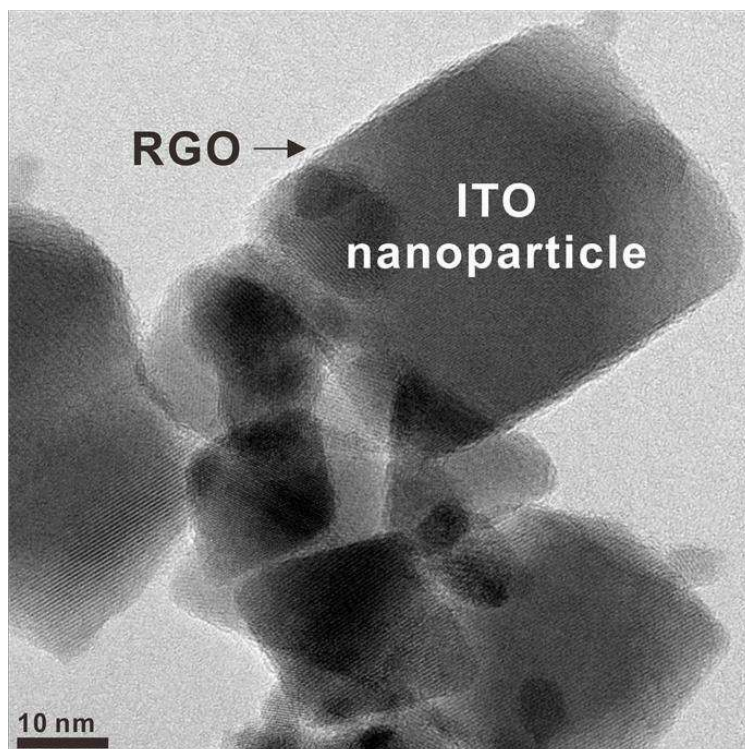
[0036] 도 7은 피사렌코 관계(Pisarenko relation)를 이용하여 계산한 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복

합체의 상태밀도 유효질량을 나타낸 것이다. 제백계수(S)와 캐리어농도(n)의 관계를 이용하여  $S \cdot n^{2/3}$ 을 온도에 대해 플롯(plot)하면 기울기를 이용하여 상태밀도 유효질량을 계산할 수 있다. 문헌에서 인듐 주석 산화물의 상태밀도 유효질량과 비교해보았을 때 인듐 주석 산화물-환원된 그래핀 산화물 나노복합체의 상태밀도 유효질량은 비슷한 값을 보인다. 이는 나노복합체 내에서 환원된 그래핀 산화물 네트워크를 통해서 전하가 전송되는 것이 아니고 인듐 주석 산화물 결정립을 통해서 이루어진다는 것을 의미한다. 이로써 환원된 그래핀 산화물을 인듐 주석 산화물에 적용하였을 때 결정립계 산란의 감소로 단결정 수준의 우수한 전하 전송 특성을 보이는 나노복합체를 제작할 수 있는 것으로 결론지을 수 있다.

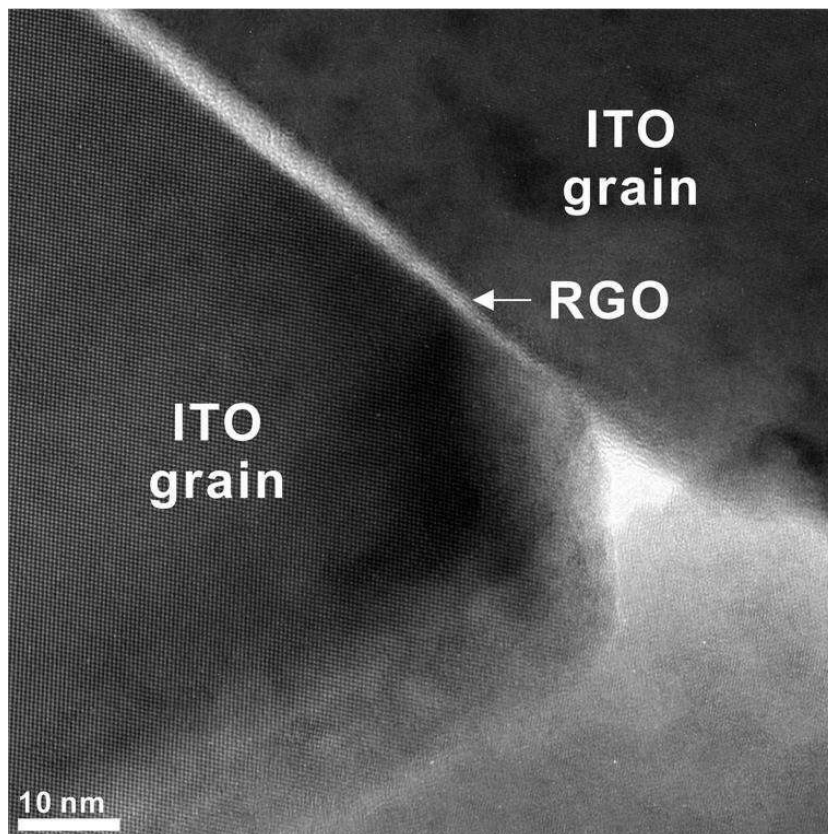
[0037] 이상, 본 발명의 바람직한 실시예를 들어 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상의 범위 내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러 가지 변형이 가능하다.

## 도면

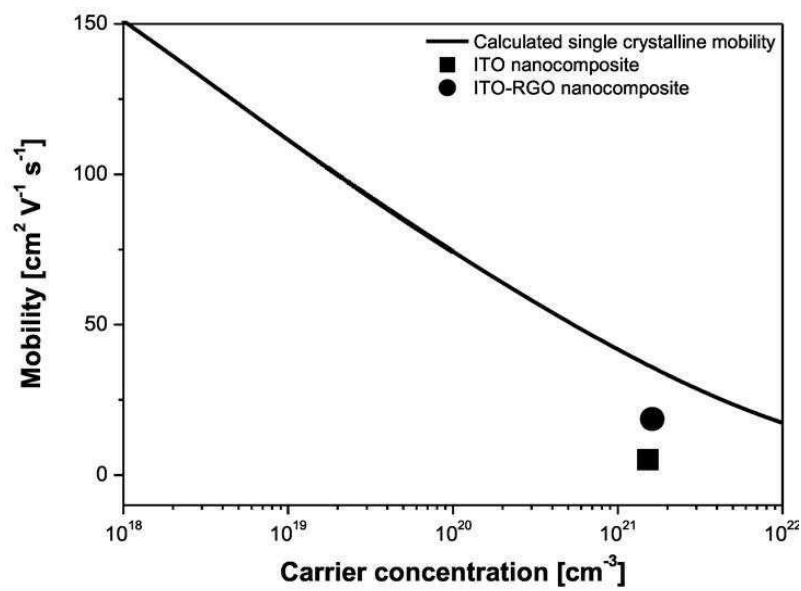
### 도면1



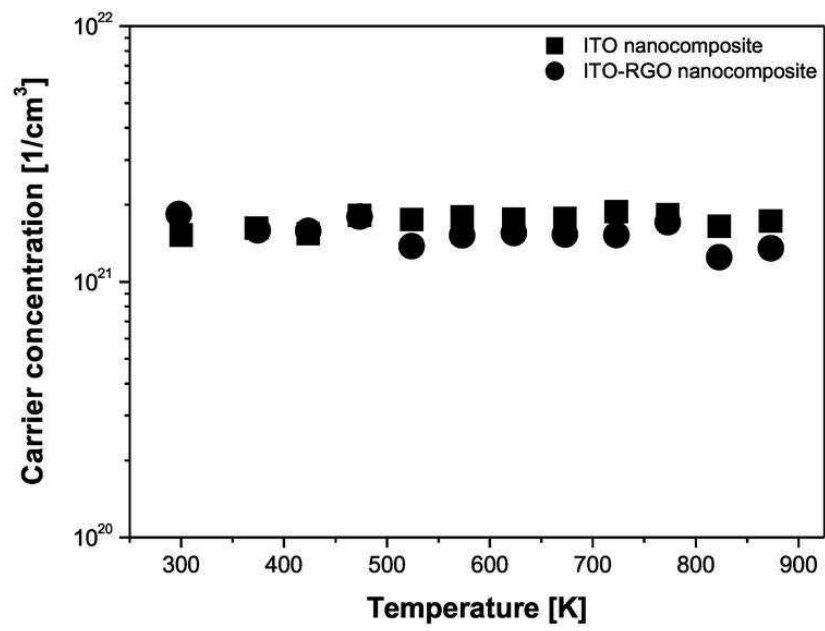
도면2



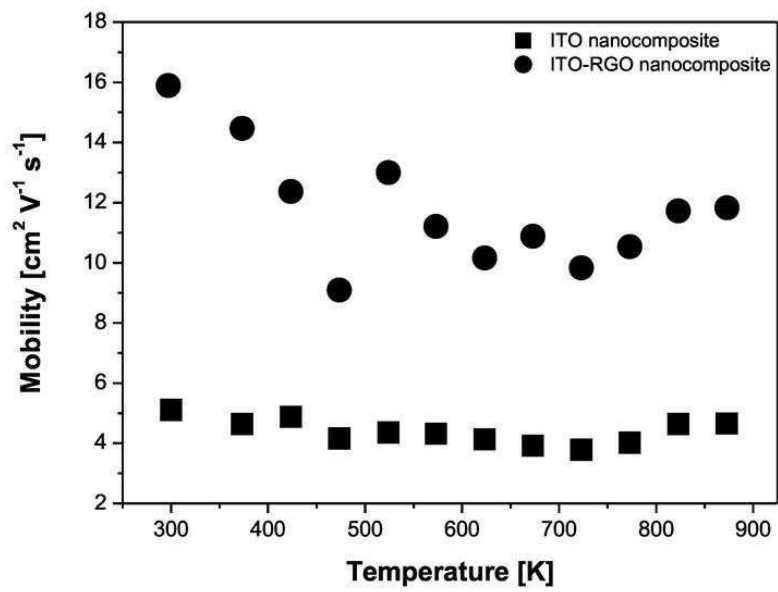
도면3



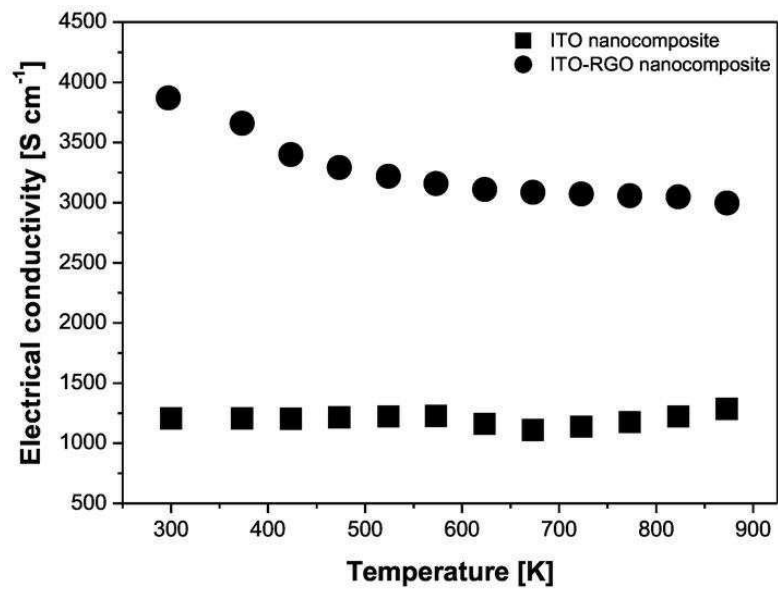
도면4



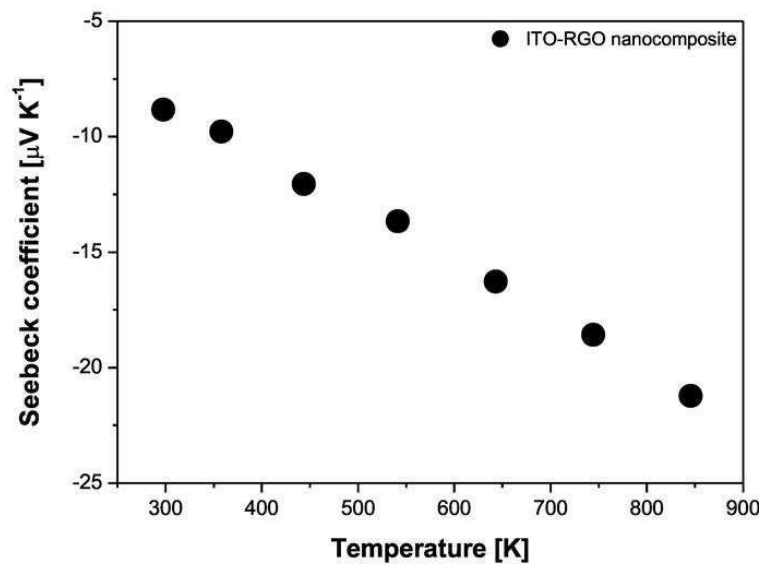
도면5



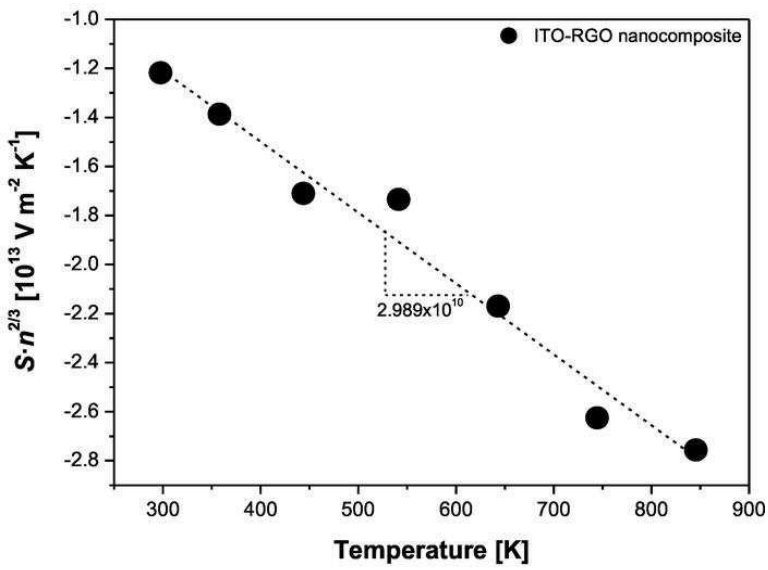
도면6



도면7



도면8



도면9

