



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0094102
(43) 공개일자 2010년08월26일

(51) Int. Cl.

B82B 1/00 (2006.01) B82B 3/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0013373

(22) 출원일자 2009년02월18일

심사청구일자 2009년02월18일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

주진수

서울시 중랑구 묵동 신내 두산아파트 525동 402호

박성규

서울시 영등포구 영등포동 영등포푸르지오 108동 2302호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인무한

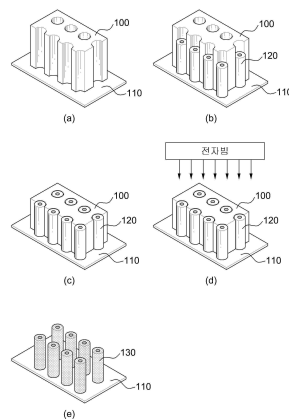
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 개질된 나노구조체, 그 제조 방법 및 개질된 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법

(57) 요약

나노구조체, 그 제조 방법, 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법, 및 나노구조체를 제조하기 위한 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 변화시킬 수 있는 방법이 개시된다. 나노구조체 제조 방법은 일면에 전극이 형성되어 있는 나노다공성 템플레이트를 준비하는 단계; 나노다공성 템플레이트의 기공 내부에 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 주입하여 π -공액 전도성 고분자 구조체를 형성하는 단계; π -공액 전도성 고분자 구조체에 미리 제어된 전자빔을 조사하는 단계; 및 나노다공성 템플레이트를 제거하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

홍영기

서울시 성북구 종암2동 104-1 SK아파트 106동 270
8호

박동혁

서울시 성북구 안암동2가 138번지

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 M20802000221-08B0200-22110

부처명 한국과학재단

연구사업명 원자력연구개발사업-〉 원자력연구기반확충사업-〉 대형연구시설 공동이용활성화지원분야 (전자빔)

연구과제명 유기 단분자 나노선 및 나노소자에 대한 전자빔 주입 효과 연구

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2008년 04월 01일 ~ 2009년 03월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

일면에 전극이 형성되어 있는 나노다공성 템플레이트를 준비하는 단계;

상기 나노다공성 템플레이트의 기공 내부에 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 주입하여 π -공액 전도성 고분자 구조체를 형성하는 단계;

상기 π -공액 전도성 고분자 구조체에 미리 제어된 전자빔을 조사하는 단계; 및

상기 나노다공성 템플레이트를 제거하는 단계

를 포함하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전자빔을 조사하기 전에 상기 나노다공성 템플레이트의 일부를 미리 제거하는 단계

를 더 포함하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 전극은 금, 은, 백금, 구리, 니켈, 스테인레스 스틸 및 산화인듐주석(ITO)으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 하나의 재료를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 나노다공성 템플레이트는 양극산화 알루미늄 또는 폴리카보네이트를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 π -공액 전도성 고분자 구조체는 폴리피롤, 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜), 폴리실록산 카르바졸, 폴리아닐린, 폴리에틸렌 옥사이드, 폴리인돌, 폴리피리디아진, 폴리이소티아나프탈렌, 폴리페닐렌 설파이드, 폴리비닐피리딘, 폴리플루오렌, 폴리피리딘, 및 이들의 유도체로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 1종의 고분자를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 π -공액 전도성 고분자 구조체는 테트라부틸암모늄 헥사플루오로포스페이트(TBAPF₆), 1-부틸-3-메틸이미다졸리움 헥사플루오로포스페이트(BMIMPF₆), p-도데실벤젠설포산(DBSA), 테트라부틸암모늄 테트라플루오로보레이트(TBAPF₄) 및 테트라부틸암모늄 트리플루오로메탄설포네이트(TBACF₃SO₃)로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 1종의 도펀트에 의해 도핑된 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 π -공액 전도성 고분자 구조체는 전기화학 중합법, 화학적 중합법 및 자기조립법으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 하나의 방법으로 합성되는 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 전자빔은 초점이 맺히지 않은 전자빔인 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 전자빔의 에너지는 100 keV 내지 3 MeV이고, 상기 전자빔의 선량은 1.0×10^{13} electrons/cm² 내지 1.0×10^{17} electrons/cm²인 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 나노구조체는 나노튜브, 나노선 및 나노입자로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상인 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조 방법.

청구항 11

일면에 전극이 형성되어 있는 나노다공성 템플레이트를 준비하는 단계;

상기 나노다공성 템플레이트의 기공 내부에 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 주입하여 π -공액 전도성 고분자 구조체를 형성하는 단계;

상기 π -공액 전도성 고분자 구조체에 전자빔을 조사하는 단계;

상기 나노다공성 템플레이트를 제거하여 상기 전자빔의 조사에 의해 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체가 개질됨으로써 형성된 나노구조체를 수득하는 단계;

상기 나노구조체의 물리적 특성을 측정하는 단계; 및

상기 전자빔의 조사 조건 및 상기 나노구조체의 물리적 특성의 상관 관계를 분석하는 단계

를 포함하는 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 나노구조체의 물리적 특성을 측정하는 단계시, 상기 나노구조체의 이미지 사진 측정, 라만 스펙트럼 측정, 자외선-가시광 흡수 스펙트럼 측정, 광발광 스펙트럼 측정 및 전류-전압 특성 측정으로 이루어진 군으로부터 선택된 적어도 하나의 측정을 수행하는 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 전자빔의 조사 조건은 상기 전자빔의 에너지, 선량 및 조사 시간을 포함하는 것을 특징으로 하는 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법.

청구항 14

π -공액 전도성 고분자 구조체에 전자빔을 조사함으로써 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 변화시키는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 전자빔의 조사 조건을 변화시킴으로써 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 변화시키는 방

법.

청구항 16

제1항의 방법에 따라 제조되고, 반도체 또는 절연체 특성을 갖는 것을 특징으로 하는 나노구조체.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 나노구조체, 그 제조 방법, 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법 및 상기 나노구조체를 제조하기 위한 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 변화시키는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] π -공액 구조를 갖는 유기 고분자는 그 구조적, 전기적, 광학적 특성 등에 대한 기존의 연구를 통해서 전기적 특성 및 광반응성이 우수한 것으로 알려져 있다. 이 때문에, 상기 유기 고분자는 유기 발광 다이오드(Organic Light Emitting Diode: OLED), 유기 전계효과 트랜지스터(Organic Field-Effect Transistor: OFET), 유기 태양 전지(Organic Solar Cell: OSC) 등과 같은 유기 광전자 소자의 활성층(Active Layer)이나 기존의 금속을 대체할 수 있는 전극 물질로 사용되고 있다. 또한, 최근에는 실리콘에 기반한 나노기술의 발전에 따라, π -공액 구조를 갖는 유기 물질을 이용하여 제조된 나노선, 나노튜브 또는 나노입자 등과 같은 나노구조체는 유기 광전자 소자 제조에 활발히 응용되고 있다.

[0003] π -공액 구조를 갖는 유기 물질을 유기 광전자 소자에 보다 효과적으로 적용하기 위해서는 그 광학적, 전기적 특성 등을 조절할 수 있어야 한다. 이와 같은 물리적 특성은 유기 물질의 구조나 도핑 상태 등에 따라 달라질 수 있다. π -공액 구조를 갖는 유기 단분자, 고분자 및 이와 같은 물질로 제작된 나노 구조체의 특성을 변화시키는 기존 방법으로는 습식 공정(Wet-Process)으로 이루어진 화학적 방법이 있다. 그런데, 상기 화학적 방법은 복잡한 과정으로 이루어지고, 아울러 용액 사용에 따른 시료 및 주변 환경의 오염을 유발할 수 있다. 또한, 상기 화학적 방법의 일종인 사이클릭 볼타미터(Cyclic Voltammetry: CV)를 이용한 전기화학적 방법은 대면적 처리가 어렵다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0004] 본 발명의 일 측면은 물리적 특성 변화를 위한 습식 공정에서 발생할 수 있는 문제점을 해결할 수 있는 나노구조체의 제조 방법 및 그에 의해 제조된 나노구조체를 제공한다.

[0005] 본 발명의 일 측면은 나노구조체의 물리적 특성을 정량적으로 제어할 수 있는 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법을 제공한다.

[0006] 본 발명의 일 측면은 물리적 특성 변화를 위한 습식 공정에서 발생할 수 있는 문제점 없이 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 변화시킬 수 있는 방법을 제공한다.

과제 해결수단

[0007] 본 발명의 일 측면에 따른 나노구조체 제조 방법은 일면에 전극이 형성되어 있는 나노다공성 템플레이트를 준비하는 단계; 상기 나노다공성 템플레이트의 기공 내부에 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 주입하여 π -공액 전도성 고분자 구조체를 형성하는 단계; 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체에 미리 제어된 전자빔을 조사하는 단계; 및 상기 나노다공성 템플레이트를 제거하는 단계를 포함한다.

[0008] 한편, 본 발명의 일 측면에 따른 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법은 일면에 전극이 형성되어 있는 나노다공성 템플레이트를 준비하는 단계; 상기 나노다공성 템플레이트의 기공 내부에 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 주입하여 π -공액 전도성 고분자 구조체를 형성하는 단계; 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체에 전자빔을 조사하는 단계; 상기 나노다공성 템플레이트를 제거하여 상기 전자빔의 조사에 의해 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체가 개질됨으로써 형성된 나노구조체를 수득하는 단계; 상기 나노구조체의 물리적 특성을 측정하는

단계; 및 상기 전자빔의 조사 조건 및 상기 나노구조체의 물리적 특성의 상관 관계를 분석하는 단계를 포함한다.

[0009] 한편, 본 발명의 일 측면에 따른 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 변화시키는 방법은 π -공액 전도성 고분자 구조체에 전자빔을 조사에 의해 이루어진다.

[0010] 한편, 본 발명의 일 측면에 따른 나노구조체는 상술한 방법에 따라 제조되고, 반도체 또는 절연체 특성을 갖는다.

효 과

[0011] 본 발명의 일 측면에 따르면, 전자빔의 조사를 통해 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 변화시킬 수 있으므로, π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성 변화를 위한 기존의 습식 공정에서 발생할 수 있는 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 전자빔의 조사 조건 및 나노구조체의 물리적 특성의 상관 관계를 분석한 후, 그 분석 결과를 나노구조체 제조에 반영함으로써, π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 원하는 바대로 변화시킬 수 있으며, 아울러 나노구조체의 물리적 특성을 정량적으로 제어할 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 측면에 따라 제조되는 나노구조체는 π -공액 전도성 고분자를 이용하는 유기 광전자 소자 또는 광을 이용한 바이오 센서 등의 유기 나노 광전자 소자의 소재로 이용될 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0012] 이하, 본 발명의 일 측면에 따른 나노구조체, 그 제조 방법, 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법, 및 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 변화시키는 방법에 대하여 상세히 설명한다.

[0013] 본 발명에 있어서, “ π -공액 전도성 고분자 구조체”는 π -공액 구조를 갖는 전도성 고분자를 포함하는 나노 크기의 구조체로서, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성을 변화 또는 개질시키기 위한 건식 공정, 예를 들어, 전자빔 조사전의 구조체를 말한다. 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체는, 예를 들어, 나노튜브, 나노선, 나노입자, 나노박막 등의 형태를 가질 수 있으나, 본 발명이 이에 의해 한정되거나 제한되지 않는다.

[0014] 본 발명에 있어서, “나노구조체”는 상기 건식 공정에 의해 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체의 물리적 특성이 변화 또는 개질되어 형성된 결과물로서, 나노 크기의 구조체를 말한다. 상기 나노구조체는, 예를 들어, 나노튜브, 나노선, 나노입자, 나노박막 등의 형태를 가질 수 있으나, 본 발명이 이에 의해 한정되거나 제한되지 않는다.

[0015] 도 1은 본 발명의 일 측면에 따른 나노구조체 제조 공정을 개략적으로 설명하기 위한 공정 단면도이다. 여기서, 도 1에서는 나노구조체로서 나노튜브를 도시하고 있다. 그러나, 도 1은 본 발명의 나노구조체 제조 공정을 설명하기 위한 예시적인 도면으로서, 본 발명은 이에 의해 한정되거나 제한되지 않는다.

[0016] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 측면에 따른 나노구조체의 제조 방법은 일면에 전극(110)이 형성되어 있는 나노다공성 템플레이트(100)를 준비하는 단계, 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 기공 내부에 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 주입하여 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 형성하는 단계, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)에 미리 제어된 전자빔을 조사하는 단계, 및 상기 나노다공성 템플레이트(100)를 제거하는 단계를 포함한다. 또한, 본 발명의 일 측면에 따른 나노구조체의 제조 방법은 상기 전자빔을 조사하기 전에 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 일부를 미리 제거하는 단계를 더 포함할 수 있다. 이하에서는, 각 단계별로 구체적으로 설명하기로 한다.

[0017] 먼저, 도 1의 (a)를 참조하면, 나노구조체(130)를 형성하기 위한 매체로서 사용되는 나노다공성 템플레이트(100)를 준비한다. 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 재료로는 특별히 한정되지는 않으나, 예를 들어, 양극산화 알루미늄(Anodized Aluminium Oxide: AAO) 또는 폴리카보네이트 등을 사용할 수 있다. 그 중에서, 상기 양극산화 알루미늄으로 이루어진 나노다공성 템플레이트(100)는, 예를 들어, 25℃ 및 0.2M의 인산전해질 하에서 100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 전류를 가하는 알루미늄 양극산화법을 통해 형성될 수 있다.

[0018] 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 기공 크기를 조절하면, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120) 및 상기 나노구조체(130)의 직경을 조절할 수 있다. 이때, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120) 및 상기 나노구조체(130)의 직경이 작을수록, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120) 및 상기 나노구조체(130)의 전기 전도도가 향상된다. 따라서, 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 기공 크기 조절을 통해 상기 π -공액 전도성 고분자 구

구조체(120) 및 상기 나노구조체(130) 각각의 전기 전도도를 원하는 바대로 조절할 수 있다.

- [0019] 상기 나노다공성 템플레이트(100)로서 일면에 전극(110)이 형성되어 있는 나노다공성 템플레이트(100)를 사용할 수 있다. 그러나, 본 발명은 이에 국한되지 않으며, 필요에 따라 일면에 전극(110)이 형성되어 있지 않은 나노다공성 템플레이트(100)를 사용하여도 무방하다.
- [0020] 상기 전극(110)은, 예를 들어, 후술하는 전기화학 중합법으로 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 형성할 때, 작업 전극(Working Electrode)으로 사용될 수 있다. 상기 전극(110)의 재료로는 특별히 한정되지는 않으나, 예를 들어, 도전성이 우수한 금, 은, 백금, 구리, 니켈, 스테인레스 스틸, 산화인듐주석(ITO) 등을 단독으로 또는 2종 이상 조합하여 사용할 수 있다. 상기 전극(110)은 물리적 기상 증착(Physical Vapor Deposition: PVD)법, 화학적 기상 증착(Chemical Vapor Deposition: CVD)법, 열증발증착(thermal evaporation)법 및 스퍼터링(sputtering)법 중에서 어느 하나의 방법을 이용하여 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 일면에 형성될 수 있으나, 이에 의해 본 발명이 한정되거나 제한되지 않는다.
- [0021] 일면에 전극(110)이 형성되어 있는 나노다공성 템플레이트(100)를 준비한 후에는, 도 1의 (b)에 도시된 바와 같이, 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 기공 내부에서 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 성장시킨다.
- [0022] 이를 위해, 먼저, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 형성하기 위한 원료로서 사용되는 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 준비할 수 있다. 상기 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 구성하는 성분은 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 성장시키기 위한 구체적인 방법에 따라 다를 수 있다. 일 예로, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 전기화학 중합법 또는 화학적 중합법으로 중합하고자 하는 경우에는, 상기 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물은 유기용매, 단량체 및 도펀트를 포함할 수 있다.
- [0023] 중합매체인 상기 유기용매로는 특별히 한정되지는 않으나, 예를 들어, 메탄올, 에탄올, 프로판올, 부탄올, 펜탄올 등과 같은 알콜계 용매; 메틸렌 클로라이드, 클로로포름, 테트라클로로메탄, 디클로로에탄, 트리클로로에탄 등과 같은 염화탄화수소계 용매; 디메틸포름아미드, 디메틸아세트아미드, N-메틸피롤리돈 등과 같은 아미드계 용매; 아세토니트릴, 벤조니트릴 등과 같은 니트릴계 용매; 테트라하이드로퓨란, 다이옥산, 아세톤, 부탄올 등과 같은 케톤계 용매; 에틸 아세테이트 또는 부틸 아세테이트 등과 같은 에스테르계 용매 등을 단독으로 또는 2종 이상 조합하여 사용할 수 있다. 그 중에서, 유기용매의 사용량에 따라 π -공액 전도성 고분자의 발광 특성 등을 조절할 수 있는 니트릴계 용매, 케톤계 용매를 단독으로 또는 2종 이상을 조합하여 사용할 수 있다.
- [0024] 상기 단량체는 중합하기 위한 π -공액 전도성 고분자 종류에 따라 달라진다. 즉, 상기 단량체로는 상기 π -공액 전도성 고분자를 중합할 수 있는 것이면 되므로 특별히 한정되지 않으며, 기존에 공지된 것을 사용할 수 있다. 상기 π -공액 전도성 고분자 중합시 1종의 단량체를 사용할 수 있으나, 필요에 따라 2종 이상의 단량체를 혼합 및 중합시킴으로써 π -공액 전도성 고분자를 공중합체 또는 3원공중합체로 제조할 수도 있다. 여기서, 상기 π -공액 전도성 고분자는 특별히 한정되지는 않으나, 예를 들어, 폴리피롤, 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜), 폴리실록산 카르바졸, 폴리아닐린, 폴리에틸렌 옥사이드, 폴리인돌, 폴리피리디아진, 폴리이소티아나프탈렌, 폴리페닐렌 설파이드, 폴리비닐피리딘, 폴리플루오렌, 폴리피리딘, 및 이들의 유도체 중에서 적어도 1종의 고분자일 수 있다.
- [0025] 상기 도펀트는 중합 후 상기 π -공액 전도성 고분자의 주사슬 사이에 위치하면서 상기 π -공액 전도성 고분자를 산화 또는 환원시키고, 아울러 폴라론(Polaron)이나 바이폴라론(Bipolaron) 등과 같은 전하운반자를 형성시킬 수 있다. 따라서, π -공액 전도성 고분자는 상기 도펀트에 의해 도핑된 상태가 될 수 있다. 상기 도핑된 π -공액 전도성 고분자에서는 π - π^* 밴드갭(Band-Gap) 중간에 폴라론 또는 바이폴라론에 의한 새로운 에너지 흡수 밴드가 형성이 되며, π - π^* 밴드갭의 크기가 증가할 수 있다. 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120) 및 상기 나노구조체(130)의 전기적 특성(예를 들어, 절연체, 반도체, 도체 등)을 상기 도펀트의 도핑 및 추후의 디도핑을 통해 조절할 수 있다.
- [0026] 상기 도펀트로는 특별히 한정되지는 않으나, 예를 들어, 테트라부틸암모늄 헥사플루오로포스페이트(TBAPF₆), 1-부틸-3-메틸이미다졸리움 헥사플루오로포스페이트(BMIMPF₆), p-도데실벤젠설포산(DBSA), 테트라부틸암모늄 테트라플루오로보레이트(TBAPF₄), 테트라부틸암모늄 트리플루오로메탄설포네이트(TBACF₃SO₃) 등을 단독으로 또는 2종 이상 조합하여 사용할 수 있다.
- [0027] 상기 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 준비한 후에는, 예를 들어, 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 기

공 내부에 상기 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 주입한 후, 전기화학 중합법으로 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 형성한다. 상기 전기화학 중합법은 도펀트를 매개로 하여 단량체들의 화학 결합을 촉진시키고, 상기 단량체를 구성하는 탄소 사이의 단일 결합과 이중 결합이 반복되는 π -공액 구조의 주사슬(Main Chain)을 형성시킬 수 있으며, 그 결과 고분자화시킬 수 있다. 상기 전기화학 중합법으로는 작업 전극 및 대전 전극(Counter Electrode)간에 일정한 전류를 계속 공급함으로써 중합 반응을 진행하는 정전류법(Constant Current Electrolysis: CCE), 및 작업 전극 및 기준 전극(Reference Electrode)간의 전압 또는 작업 전극 및 대전 전극간의 전압을 일정하게 유지시킴으로써 중합 반응을 진행하는 정전압법(Constant Potential Electrolysis: CPE) 중에서 어느 방법을 사용하여도 무방하다.

[0028] 한편, 상기 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 제조하는 과정에서의 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물의 상태(예를 들어, 온도, 압력, 단량체 및 단량체에 따른 도펀트의 종류와 몰비율 등) 등은 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)의 생성에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 상기 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물의 상태 및 전기화학 중합 조건의 변화에 따라 다양한 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 합성할 수 있다. 일 예로, 전기화학 중합시 일정 전압에서 중합시간이 짧은 경우에는 나노튜브가 생성될 수 있는 반면, 중합시간이 긴 경우에는 나노선이 생성될 수 있다.

[0029] 이상에서는, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 형성하기 위한 방법으로서 전기화학 중합법을 예로 들어 설명하였지만, 본 발명은 이에 국한되지 않는다. 일 예로, 상기한 전기화학 중합법, 화학적 중합법 및 자기조립법 등 중에서 적어도 어느 하나의 방법으로 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 형성할 수 있다.

[0030] 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)를 형성한 후에는, 도 1의 (c)에 도시된 바와 같이, 필요에 따라 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 일부를 미리 제거할 수 있다. 예를 들어, π -공액 전도성 고분자 구조체(120)가 채워지지 않은 나노다공성 템플레이트(100) 상부의 일부를 제거함으로써 후술되는 전자빔의 조사가 원활히 이루어지도록 할 수 있다. 상기 나노다공성 템플레이트(100)의 일부를 미리 제거하기 위해, 예를 들어, 양극산화 알루미늄으로 이루어진 나노다공성 템플레이트(100), 즉, 양극산화 알루미늄 템플레이트를 불산(HF) 수용액 또는 수산화나트륨(NaOH) 수용액에 침지시킬 수 있다. 또는, 상기 불산 수용액 또는 수산화나트륨 수용액을 상기 양극산화 알루미늄 템플레이트의 표면에 점적(drop)하는 방법을 이용할 수 있다.

[0031] 다음으로, 도 1의 (d)에 도시된 바와 같이, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)에 미리 제어된 전자빔을 조사한다. 여기서, “미리 제어된”이란 표현은 상기 전자빔의 조사 조건 및 상기 나노구조체의 물리적 특성의 상관 관계 분석 결과가 반영된 것을 의미한다. 즉, 상기 미리 제어된 전자빔은, 상기 전자빔의 조사 조건을 달리하여 많은 나노구조체를 제조한 후, 각각의 나노구조체의 물리적 특성을 측정하여 다음, 상기 전자빔의 조사 조건 및 상기 나노구조체의 물리적 특성의 상관 관계를 분석한 후, 그 분석 결과가 반영된 전자빔이다.

[0032] 이와 같이, 상기 분석 결과가 나노구조체 제조에 반영됨으로써 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)의 물리적 특성을 원하는 바대로 변화 또는 개질시킬 수 있으며, 아울러 나노구조체의 물리적 특성을 정량적으로 제어할 수 있다. 또한, 전자빔 조사와 같은 건식 공정으로 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)의 물리적 특성을 변화 또는 개질시키기 때문에, 기존의 습식 공정에서 발생할 수 있는 문제점을 해결할 수 있다.

[0033] 상기 전자빔으로 초점이 맺히지 않은(unfocused) 전자빔을 사용할 경우, 상기 전자빔을 복수의 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)에 동시에 조사할 수 있으므로, 상기 나노구조체의 제조 시간 등을 단축할 수 있다. 그러나, 본 발명은 이에 국한되지 않으며, 상기 전자빔으로 초점이 맺힌 전자빔을 사용할 수도 있다. 이 경우, 특정 π -공액 전도성 고분자 구조체(120) 전부 또는 일부에 전자빔을 조사할 수 있으므로, 상기 특정 π -공액 전도성 고분자 구조체(120) 전부 또는 일부의 물리적 특성을 국부적으로 변화 또는 개질할 수 있다. 또한, 필요에 따라 상기 전자빔으로 초점이 맺히지 않은(unfocused) 전자빔 및 초점이 맺힌 전자빔을 조합하여 사용할 수도 있을 것이다.

[0034] 상기 전자빔의 에너지 및 선량(dosage) 등과 같은 전자빔의 조사 조건은 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)의 물리적 특성을 얼마나 변화시킬 것인지에 따라 달라진다. 예를 들어, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)의 물리적 특성을 조금 변화시키고자 하는 경우, 상기 전자빔의 에너지 및 선량은 각각 작을 수 있는 반면, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체(120)의 물리적 특성을 많이 변화시키고자 하는 경우, 상기 전자빔의 에너지 및 선량은 각각 클 수 있다. 이 때문에, 상기 전자빔의 에너지 및 선량의 크기에 의해 본 발명이 한정되지 않으나, 예를 들어, 상기 전자빔의 에너지는 100 keV 내지 3 MeV이고, 상기 전자빔의 선량은 1.0×10^{13} electrons/cm² 내지 1.0×10^{17} electrons/cm²일 수 있다.

- [0035] 상기 전자빔을 조사한 후에는, 도 1의 (e)에 도시된 바와 같이, 상기 나노다공성 템플레이트를 제거한다. 이때의 제거 과정은 상기한 나노다공성 템플레이트의 일부의 제거 과정과 동일 또는 유사하므로 그 상세한 설명은 생략한다. 상기 나노다공성 템플레이트를 제거한 후에는, 예를 들어, 증류수 등을 이용하여 나노구조체(130)에 남아있는 잔여물을 제거한 다음, 상기 잔여물이 제거된 나노구조체(130)를 진공 오븐에서 건조하여 본 발명의 일 측면에 따른 나노구조체(130)를 수득할 수 있다. 한편, 상기 나노구조체(130)를 나노다공성 템플레이트와 함께 이용할 경우에는, 상기 전자빔 조사후에 수행되는 상기 나노다공성 템플레이트의 제거 과정은 생략될 수 있다.
- [0036] 상기한 바에 따라 제조되는 π -공액 전도성 고분자를 포함하는 나노구조체는 반도체 또는 절연체 특성을 갖는다.
- [0037] 이하에서는, 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법에 대해 상세하게 설명하기로 한다.
- [0038] 나노구조체 제조용 전자빔의 제어 방법은 일면에 전극이 형성되어 있는 나노다공성 템플레이트를 준비하는 단계, 상기 나노다공성 템플레이트의 기공 내부에 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 주입하여 π -공액 전도성 고분자 구조체를 형성하는 단계, 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체에 전자빔을 조사하는 단계, 상기 나노다공성 템플레이트를 제거하여 상기 전자빔의 조사에 의해 상기 π -공액 전도성 고분자 구조체가 개질됨으로써 형성된 나노구조체를 수득하는 단계, 상기 나노구조체의 물리적 특성을 측정하는 단계, 및 상기 전자빔의 조사 조건 및 상기 나노구조체의 물리적 특성의 상관 관계를 분석하는 단계를 포함한다. 상기 분석 결과는, 상술한 바와 같이, 나노구조체 제조에 반영될 수 있다. 여기서, 상기 나노구조체를 수득하는 단계까지는 전술한 나노구조체의 제조 방법에서 설명한 바와 동일하므로, 이하에서는 중복되는 설명은 생략한다.
- [0039] 상기 나노구조체의 물리적 특성을 측정하기 위해 공지의 모든 측정 방법들이 이용될 수 있다. 예를 들어, 상기 나노구조체의 이미지 사진 측정, 라만(Raman) 스펙트럼 측정, 자외선-가시광(Ultraviolet-Visible: UV/Vis) 흡수 스펙트럼 측정, 광발광 스펙트럼 측정, 전류-전압(Current-Voltage: I - V) 특성 측정 등을 수행할 수 있다.
- [0040] 상기 전자빔의 조사 조건은 전자빔 조사 장치를 이용하여 전자빔을 조사할 시 변화시킬 수 있는 모든 변수들을 말하는 것으로서, 예를 들어, 상기 전자빔의 에너지, 선량 및 조사 시간을 포함할 수 있다.
- [0041] 한편, 본 발명은 나노 크기의 구조체 뿐만 아니라 벌크(bulk) 상태의 모든 구조체의 물리적 특성 변화를 이루고자 하는 경우에도 적용될 수 있다.
- [0042] 이하, 하기 실시예를 참조하여 본 발명을 상세하게 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명의 기술적 사상이 그에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.
- [0043] [실시예]
- [0044] **1. 폴리피롤(PPy) 나노선 제조**
- [0045] **실시예 1 내지 4**
- [0046] Whatman에서 구입한 양극산화 알루미늄 템플레이트(지름: 47 mm, Pore Size: 0.2 μ m)를 준비하였다. 이어, 상기 양극산화 알루미늄 템플레이트의 일면에 전극으로 사용될 금을 증착한 후, 상기 증착된 금을 스테인레스 스틸에 부착하여 P3MT 나노튜브 중합을 위한 배경 물질로 사용하였다.
- [0047] 이어, 유기용매, 단량체, 도펀트를 혼합하고 30분 이상 자석 교반하여 균질한 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물을 준비하였다. 이때, 상기 유기용매로는 아세토니트릴을, 상기 단량체로는 피롤을, 도펀트로는 테트라부틸암모늄 헥사플루오로포스페이트를 사용하였다. 이어, 상기 양극산화 알루미늄 템플레이트 기공 내부에 상기 π -공액 전도성 고분자 원료 조성물 주입한 후, 전기화학 중합법으로 PPy 나노선을 형성하였다.
- [0048] 이어, 상기 양극산화 알루미늄 템플레이트의 표면에 불산 수용액을 점적하여 상기 양극산화 알루미늄 템플레이트의 일부를 제거한 다음, 상기 PPy 나노선에 초점이 맺히지 않은 전자빔을 상온 및 공기 중에서 조사하였다. 상기 초점이 맺히지 않은 전자빔은 한국원자력연구원의 선형 전자 가속기를 이용하여 발생하였다. 이때, 전압이 인가된 필라멘트에서 방출되는 열전자는 상전도 가속기를 통해서 원하는 에너지로 가속되었으며, 전자빔 전류값을 조절하여 원하는 선량을 얻었다. 실시예 1 내지 4에서의 전자빔의 에너지 및 선량을 하기 표 1에 나타내었다.
- [0049] 이어, 남아 있는 양극산화 알루미늄 템플레이트를 불산 수용액에 침지하여 완전히 제거한 후, 상기 전자빔의 조사의 결과로서 형성되는 PPy 나노선에 잔존하는 잔여물을 증류수로 세척한 후, 이를 진공오븐에서 건조한 다음,

실시에 1 내지 4 각각에 따른 PPy 나노선을 개별 가닥으로 분리하여 얻었다.

표 1

	에너지 (MeV)	선량 (electrons/cm ²)
실시예 1	0.3	8.0×10^{16}
실시예 2	1	8.0×10^{16}
실시예 3	2	6.5×10^{16}
실시예 4	2	8.0×10^{16}

비교예

전자빔을 조사하지 않았다는 점을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 과정을 거쳐 비교예에 따른 P3MT 선을 제조하였다.

2. PPy 나노선의 물리적 특성 측정 및 분석

실시에 및 비교예에 따라 제조된 PPy 나노선의 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: SEM) 사진, PPy 나노선 한 가닥에 대한 라만 스펙트럼, 자외선-가시광 흡수 스펙트럼, 전류-전압 특성을 측정하였다.

주사전자현미경 사진 분석

도 2는 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선의 주사전자현미경 사진으로서, 실시예 3에 따른 주사전자현미경 사진이고, 아울러 좌측 하단에 삽입된 도면은 비교예에 따른 주사전자현미경 사진이다.

도 2를 참조하면, 실시예 3 및 비교예에 따른 PPy는 각각 길이 약 30 μm , 지름 약 200 nm인 나노선 형태로 성장되었으며, 상기 나노선의 위쪽 부분이 개구된 형태임을 알 수 있었다.

라만 스펙트럼을 통한 구조 및 도핑 상태 변화 분석

도 3은 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선의 마이크로 라만 스펙트럼($\lambda_{\text{ex}} = 514 \text{ nm}$)으로서, 비교예(■), 실시예 1(○), 실시예 2(▲), 실시예 4(▽)의 마이크로 라만 스펙트럼이다. 여기서, 크게 도시된 그래프는 1150 내지 1700 cm^{-1} 범위에서 측정된 마이크로 라만 스펙트럼이고, 삽입되어 작게 도시된 그래프는 850 내지 1150 cm^{-1} 범위에서 측정된 마이크로 라만 스펙트럼이다.

PPy의 특성 라만 피크를 하기 표 1에 나타내었다.

표 2

피크 위치 (cm^{-1})	라만 특성 진동 모드
938	바이폴라론이 있는 링 변형(Ring deformation with bipolaron)
975	폴라론이 있는 링 변형(Ring deformation with polaron)
1060	폴라론이 있는 대칭 C-H 평면상 밴딩(Symmetric C-H in-plane bending with polaron)
1086	바이폴라론이 있는 대칭 C-H 평면상 밴딩(Symmetric C-H in-plane bending with bipolaron)
1245	반대칭 C-H 평면상 밴딩(Anti-symmetric C-H in-plane bending)
1375	반대칭 C-N 신축(Anti-symmetric C-N stretching)
1500	골격 밴드(Skeletal band)
1595	대칭 C=C 신축(Symmetric C=C stretching)

[0062] 도 3 및 표 2를 참조하면, PPy 라만 특성 피크의 확인 결과로부터 단량체인 피롤이 고분자로 중합되었음을 확인할 수 있었다. 또한, 전자빔 조사에 의한 PPy 나노선의 구조적 변화는 1150 내지 1700 cm^{-1} 범위에 위치하는 라만 스펙트럼에서 두드러지게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 조사된 전자빔의 에너지가 증가함에 따라 1375, 1500, 1595 cm^{-1} 에 위치하는 라만 특성 피크의 크기가 감소하고, 반치폭(Full Width Half Maxima: FWHM)은 증가하였다. 이를 통해, 조사된 전자빔과 PPy 주사슬의 방향 고리에 위치하는 C-N 결합 사이에 상호작용이 발생하여 고분자 주사슬이 구조적으로 변형되었음을 알 수 있었다. 특히, 1595 cm^{-1} 에 위치하는 대칭 C=C 신축 모드의 반치폭 증가를 통해 PPy 주사슬의 π -공액 경로 길이가 변화된 것을 알 수 있었다. 또한, 높은 에너지를 갖는 전자빔에 의해서 PPy 주사슬이 비틀어지거나 끊어지는 현상과 같은 구조적 변형이 발생하며, 이로부터 방향 고리의 공면성(Coplanarity)과 π -공액 경로의 길이가 감소함을 알 수 있었다. 상기 π -공액 경로 길이의 감소는 대칭 C=C 신축 모드와 골격 밴드에 의한 라만 피크의 크기 비를 계산하여 정량적으로 분석할 수 있다. 즉, 전자빔 조사에 따라 라만 피크의 크기 비는 5.72에서 2.37로 감소하였으며, 이를 통해 전자빔 조사에 의해 PPy 나노선이 구조적으로 변화했음을 알 수 있었다.

[0063] 또한, 전자빔 조사에 의한 PPy 나노선의 디도핑 현상은 850 내지 1150 cm^{-1} 범위의 라만 스펙트럼에서 확인할 수 있었다. 도핑에 의해 형성되는 폴라론과 바이폴라론으로부터 발생하는 네 개의 라만 특성 피크는 조사된 전자빔의 에너지가 증가함에 따라 점진적으로 감소하는 경향을 보였다. 이를 통해, 조사된 전자빔과 음전하를 띠는 도펀트 이온 사이의 상호작용으로 전자빔 조사에 의해 PPy 나노선이 도핑된 상태에서 디도핑된 상태로 변화하였음을 알 수 있었다.

[0064] 보다 정밀한 분석을 위해 PPy 나노선에 대한 마이크로 라만 스펙트럼을 로렌치안(Lorentzian) 곡선으로 분해하였으며, 그 결과를 도 4에 도시하였다. 또한, 분해된 피크의 위치, 크기, 반치폭에 대한 결과를 하기 표 3에 나타내었다.

표 3

피크 위치 (cm^{-1})	라만 특성 진동 모드	분해된 LCM 라만 피크 정보					
		위치(cm^{-1})		크기		반치폭	
		비교예	실시예 4	비교예	실시예 4	비교예	실시예 4
1245	반대칭 C-H 평면상 밴딩	1240	1252	191.9	92.4	57.0	45.4
1375	반대칭 C-N 신축	1330	1339	175.9	362.1	82.5	110.4
		1384	1418	351.3	368.3	88.4	127.3
1500	골격 밴드	1472	1519	160.2	325.6	100.8	115.7
1595	대칭 C=C 신축	1589	1591	916.6	773.2	55.1	76.6
		1611	1634	63.3	263.9	27.3	52.1

[0066] 도 4는 로렌치안 곡선으로 분해된 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선의 마이크로 라만 스펙트럼으로서, (a) 비교예(■), (b) 실시예 4(▽), (c) 비교예(■) 및 실시예 4(▽) 각각의 대칭 C=C 신축 모드의 분해 피크를 비교한 마이크로 라만 스펙트럼이다.

[0067] 도 4 및 표 3을 참조하면, 1595 cm^{-1} 에서 관찰할 수 있는 대칭 C=C 신축 모드는 두 개의 보조(Sub) 피크로 분해할 수 있다. 그 중에서, 주(Main) 피크는 PPy 주사슬이 벤젠형(Benzoid)으로, 부(Shoulder) 피크는 PPy 주사슬이 퀴논형(Quinoid)으로 구성되어 있음을 각각 의미한다. 상기 전자빔 조사에 의해 두 개의 로렌치안 분해 피크가 높은 파수(Wavenumber)로 천이하였으며, 각각의 반치폭은 증가하였다. 또한, 상기 전자빔 조사에 의해 주 피크의 크기는 감소하였고, 부 피크의 크기는 증가하였다. 이를 통해, 전자빔 조사에 의해 PPy 나노선이 구조적으로 변화하였으며, π -공액 경로 길이의 감소와 디도핑 현상이 일어났음을 알 수 있었다.

[0068] 자외선-가시광 흡수 스펙트럼을 통한 도핑 상태의 변화 분석

[0069] 일반적으로, PPy 물질의 $\pi-\pi^*$ 천이 피크가 나타나는 위치는 도핑 상태에 따라 다르다. 도핑되지 않은 중성(Neutral) 상태의 $\pi-\pi^*$ 천이 피크는 약 3.2 eV(= 388 nm)에서, 도핑된 산화(Oxidized) 상태의 $\pi-\pi^*$ 천이 피

크는 약 3.6 eV(= 345 nm)에서 각각 관찰된다고 알려져 있다.

[0070] 도 5는 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선들이 메탄올 용액에 분산된 자외선-가시광 흡수 스펙트럼으로서, 비교예(■), 실시예 1(○), 실시예 2(▲), 실시예 4(▽)의 자외선-가시광 흡수 스펙트럼이다.

[0071] 도 5를 참조하면, 전자빔이 조사되지 않은 PPy 나노선에서는 약 465 nm에서 바이폴라론에 의한 흡수 피크와 약 800 내지 1000 nm의 광대역 파장에서 폴라론에 의한 흡수 피크가 각각 확인되었으며, 아울러 약 385 nm에서 $\pi-\pi^*$ 천이 피크가 미약하게 관찰되었다. 이를 통해, 전자빔이 조사되지 않은 PPy 나노선이 도핑된 상태임을 알 수 있었다. 이에 반해, 조사된 전자빔의 에너지가 증가함에 따라 폴라론이나 바이폴라론에 의한 흡수 피크의 크기가 감소하며, $\pi-\pi^*$ 천이 피크의 크기가 증가하였다. 전자빔 조사에 의해 명확하게 나타나는 $\pi-\pi^*$ 천이 피크의 위치는 385 내지 400 nm에서 관찰되었다. 이를 통해, 전자빔 조사에 의한 효과가 전도성 PPy 나노선의 도핑 상태 및 $\pi-\pi^*$ 밴드갭을 감소시키는 디도핑 효과임을 알 수 있었다.

[0072] **전자빔 조사에 의한 PPy 나노선의 전기적 특성 변화 분석**

[0073] 도 6은 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선에 대해 측정된 전류-전압 그래프로서, 비교예(■) 및 실시예 4(▽) electrons/cm²의 전류-전압 그래프이다. 여기서, 상기 전류-전압 특성은 PPy 나노선 여러 가닥에 대하여 2-단자 전극 접촉 방법을 적용하여 측정하였다.

[0074] 도 6을 참조하면, 전자빔이 조사되지 않은 PPy 나노선의 전압-전류 관계는 Ohmic한 특성을 나타내었다. 이를 통해, 비교예에 따른 PPy 나노선은 도핑된 상태로 폴라론이나 바이폴라론에 의해 전하전달이 잘 일어남을 알 수 있었다. 그러나, 전자빔 조사 후 PPy 나노선에 흐르는 전류값이 크게 감소하였다. 전류-전압 특성 곡선의 기울기로부터 계산된 PPy 나노선의 저항은, 비교예의 경우 $8.0 \times 10^2 \Omega$ 이고, 실시예 4의 경우 $1.45 \times 10^8 \Omega$ 이었다. 상기의 결과는 전자빔 조사에 의해 PPy 나노선의 π -공액 경로 감소 및 디도핑 현상에 기인하는 것으로 추측되며, 라만 및 자외선-가시광 흡수 스펙트럼 결과와 일치하였다.

[0075] 즉, 일반적으로, π -공액 전도성 고분자는 도핑에 의해 형성된 폴라론이나 바이폴라론이 π -공액 경로를 통해 이동하면서 전하의 전달에 기여하기 때문에, 도핑된 π -공액 전도성 고분자는 도체 상태인 특징을 가지고 있으며, 도핑이 많이 될수록 폴라론이나 바이폴라론의 농도가 증가하여 전기전도도가 향상된다. 그러나, 상기 전자빔 조사에 의해 π -공액 전도성 고분자의 주사슬과 입사된 전자들이 상호작용을 일으켜 π -공액 구조가 뒤틀어 지거나 끊어지는 등과 같은 왜곡 현상이 발생하며, 그 결과로서 폴라론이나 바이폴라론의 이동이 제한된다. 이와 같은 π -공액 경로의 변화와 폴라론이나 바이폴라론의 감소에 의해 전자빔 조사 전에 도체 상태에 있던 π -공액 전도성 고분자의 전기적 특성이 전자빔 조사 후 반도체 또는 절연체 상태로 전이될 수 있는 것이다.

[0076] 이상 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

[0077] 따라서, 이상에서 기술한 실시예들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이므로, 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 하며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

도면의 간단한 설명

[0078] 도 1은 본 발명의 일 측면에 따른 나노구조체 제조 공정을 개략적으로 설명하기 위한 공정 단면도이다.

[0079] 도 2는 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선의 주사전자현미경 사진으로서, 실시예 3에 따른 주사전자현미경 사진이고, 아울러 좌측 하단에 삽입된 도면은 비교예에 따른 주사전자현미경 사진이다.

[0080] 도 3은 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선의 마이크로 라만 스펙트럼($\lambda_{ex} = 514 \text{ nm}$)으로서, 비교예(■), 실시예 1(○), 실시예 2(▲), 실시예 4(▽)의 마이크로 라만 스펙트럼이다.

[0081] 도 4는 로렌치안(Lorentzian) 곡선으로 분해된 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선의 마이크로 라만 스펙트럼으로서, (a) 비교예(■), (b) 실시예 4(▽), (c) 비교예(■) 및 실시예 4(▽) 각각의 대칭 C=C 신축 모드의 분해 피크를 비교한 마이크로 라만 스펙트럼이다.

[0082] 도 5는 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선들이 메탄올 용액에 분산된 자외선-가시광 흡수 스펙트럼

으로서, 비교예(■), 실시예 1(○), 실시예 2(▲), 실시예 4(▽)의 자외선-가시광 흡수 스펙트럼이다.

[0083] 도 6은 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 PPy 나노선에 대해 측정한 전류-전압 그래프로서, 비교예(■) 및 실시예 4(▽) electrons/cm²의 전류-전압 그래프이다.

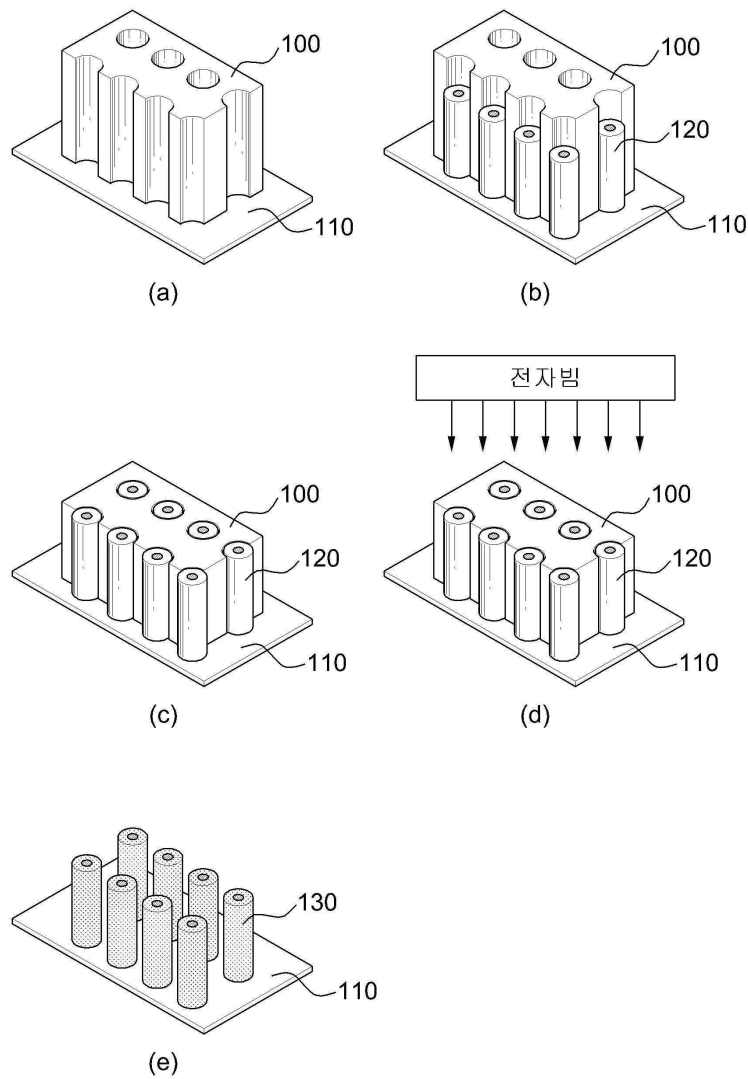
[0084] {도면의 주요부분에 대한 부호의 설명}

[0085] 100: 나노다공성 템플레이트 110: 전극

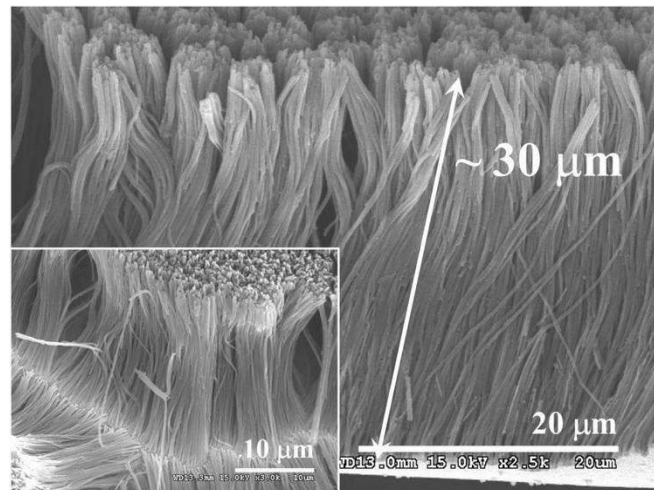
[0086] 120: π -공액 전도성 고분자 구조체 130: 나노구조체

도면

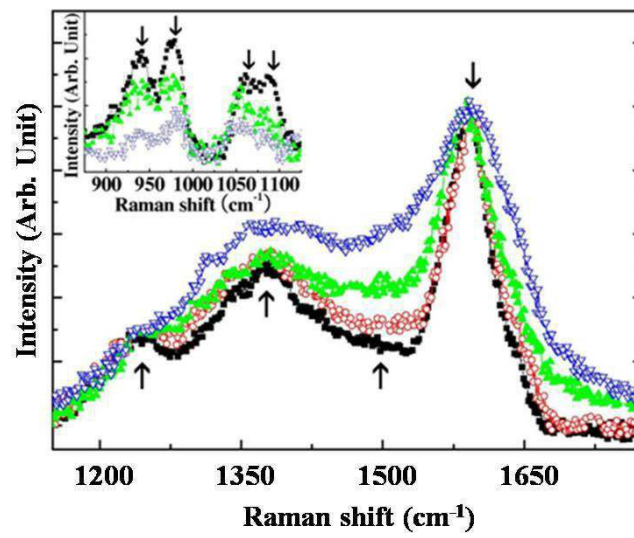
도면1



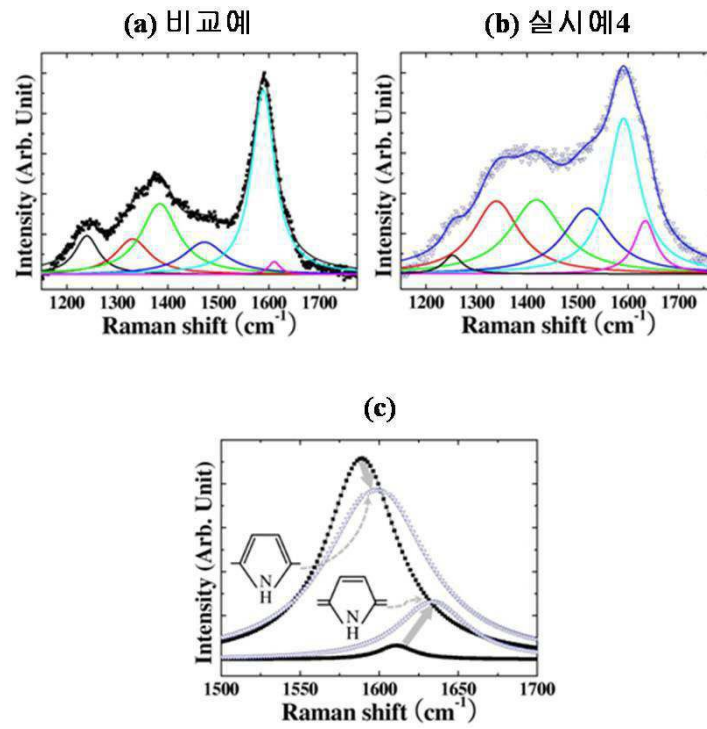
도면2



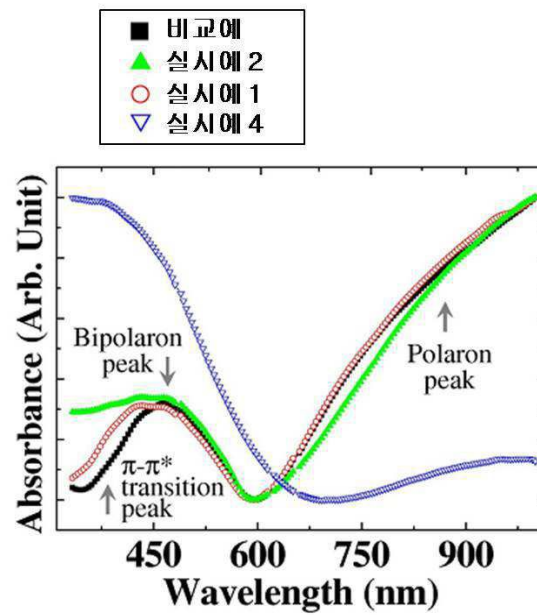
도면3



도면4



도면5



도면6

