



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. C09C 1/36 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년01월11일 10-0666477 2007년01월03일
--	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자 심사청구일자	10-2005-0052077 2005년06월16일 2005년06월16일	(65) 공개번호 (43) 공개일자	10-2006-0131552 2006년12월20일
----------------------------------	---	------------------------	--------------------------------

(73) 특허권자 한국과학기술연구원
 서울 성북구 하월곡2동 39-1

(72) 발명자 김동영
 서울 동대문구 회기동 65번지 신현대아파트 1동 1103호

 조성무
 서울 성북구 성북1동 177-14

 진병두
 경기 성남시 분당구 정자동 199번지 정든마을 202동 2102호

 안재평
 서울특별시 서초구 방배동 530-33

 송미연
 서울 중랑구 면목동 42-34

 안영락
 서울 동작구 사당1동 1027-36

(74) 대리인 박장원

(56) 선행기술조사문헌 KR1020030068600 A KR1020040101858 A
 1020030068600

* 심사관에 의하여 인용된 문헌

심사관 : 변종진

전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 산화티타늄 나노로드 및 그의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 이방성을 가지는 산화티타늄 나노로드 및 그의 제조방법에 관한 것으로, 특히 고분자와 산화티타늄 전구체의 초극세 복합섬유 및 상분리 현상을 이용한 단결정 산화티타늄 나노로드를 제조한다. 구체적으로는 산화티타늄 전구체와, 상기 전구체와 상용성인 고분자, 및 용매를 포함하는 혼합 용액을 준비하고, 상기 혼합 용액을 방사하여 상기 산화티타늄 전구체와 고분자간의 상분리에 의하여 내부에 미세한 섬유소가 포함된 산화티타늄 고분자 복합섬유를 형성하고, 상기 복합섬유를 열압착하고, 상기 복합섬유에서 상기 고분자 물질을 제거하여 산화티타늄 나노로드를 얻는다. 본 발명에 따른 산화티타늄 나노로드는 염료 감응형 태양전지, 각종 센서, 광촉매 등으로 이용될 수 있다.

대표도

도 5a

특허청구의 범위

청구항 1.

산화티타늄 전구체와, 상기 전구체와 상용성인 고분자, 및 용매를 포함하는 혼합 용액을 준비하고,

상기 혼합 용액을 방사하여 상기 산화티타늄 전구체와 고분자간의 상분리에 의하여 내부에 미세한 섬유소가 포함된 산화티타늄 고분자 복합섬유를 형성하며,

상기 복합섬유를 열압착하여 상기 섬유소들이 분리되어 산화티타늄 나노로드의 집합체가 형성되고,

상기 산화티타늄 나노로드의 집합체를 열처리하여 상기 복합섬유에서 상기 고분자 물질을 제거하는 것을 포함하는

산화티타늄 나노로드 제조 방법.

청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 혼합 용액은 전기방사에 의하여 방사되는 산화티타늄 나노로드 제조 방법.

청구항 3.

제2항에 있어서, 상기 초극세 섬유는 접지된 금속판, ITO 또는 FTO 투명전도성 유리기판 또는 투명플라스틱 기판에 적층되는 산화티타늄 나노로드 제조 방법.

청구항 4.

제1항에 있어서, 상기 섬유소는 상기 복합 섬유의 섬유 축 방향으로 배향되는 산화티타늄 나노로드 제조 방법.

청구항 5.

제1항에 있어서, 상기 산화티타늄 나노로드는 산화티타늄 단결정으로 이루어지는 산화티타늄 나노로드 제조 방법.

청구항 6.

제1항에 있어서, 상기 고분자는 폴리비닐아세테이트, 폴리비닐피롤리돈, 폴리비닐알콜, 폴리에틸렌옥시드 중에서 선택되는 어느 하나 이상인 산화티타늄 나노로드 제조 방법.

청구항 7.

제1항에 있어서, 상기 열압착 단계는 상기 고분자의 유리전이온도 이상에서 압력을 가하여 수행하는 산화티타늄 나노로드 제조 방법.

청구항 8.

제1항에 있어서, 상기 혼합 용액은 멜트블로운법(melt-blown), 플래쉬방사(Flash spinning), 또는 정전멜트블로운법(electrostatic-melt blown)을 이용하여 방사되는 산화티타늄 나노로드 제조 방법.

청구항 9.

삭제

청구항 10.

삭제

청구항 11.

삭제

청구항 12.

삭제

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 이방성을 가지는 산화티타늄 나노로드 및 그의 제조방법에 관한 것으로, 특히 고분자와 산화티타늄 전구체 초극세 복합섬유 및 상분리현상을 이용한 단결정 산화티타늄 나노로드 단결정의 효율적인 제조방법에 관한 것이다.

산화 티타늄 (Titanium dioxide, TiO₂)은 다양한 분야에서 오랫동안 이용되어 왔던 재료이다. 응용분야는 촉매, 광촉매, 염료 감응형 태양전지, 안료, 기체센서, 화장품 등으로 매우 다양하다. 특히 고굴절률, 가시광선영역 투명성, 큰 전자친화성 등의 특성으로 인하여 물이나 유기물의 광분해를 위한 광촉매로서 활발히 응용되고 있다. 또한 산화티타늄 나노입자의 넓은 표면적 및 n-형 반도체의 특성은 염료 감응형 태양전지의 전극재료로서도 기대를 갖게 한다. 이러한 산화티타늄 나노입자의 특성은 결정형태, 입자크기, 입자구조 등에 따라서 영향을 받는다. 또한 산화티타늄은 나노입자형, 박막형, 다공성 입자 등의 다양한 형태로 개발이 되어지고 있다. 최근 많은 관심을 가지고 있는 나노튜브형과 나노로드형의 산화티타늄의 제조법으로서 구형 나노입자를 강알칼리에서 처리하여 나노튜브로 성장시키는 방법 (미국특허 6,537,517 2003.03.25), 계면활성제의 마이셀(micelle) 내부에서 나노로드로 성장시키는 방법 (미국특허 6,855,202 B2 2005.02.15) 등의 습식 방법이 알려져 있다. 그러나 앞의 방법들은 사용한 강알칼리나 계면활성제 등을 제거하여 고순도의 산화티타늄 나노입자를 얻기 위하여 여러 번의 세척 및 여과 공정이 필요로 하지만 나노크기의 입자를 분리하고 세척, 건조하는 과정이 복잡하다. 실제로 산화티타늄 나노입자를 소자로 응용하기 위해서는 다량의 순수한 입자를 얻어야 하는데 기존의 방법으로는 실용적이지 못한 문제가 있다.

따라서, 보다 새로운 방법으로 산화티타늄 이방성 나노로드를 간편하게 제조할 수 있는 방법의 필요성이 대두되고 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 기존의 방법에 비하여 손쉽게 다량으로 산화티타늄 나노로드를 제조하는 방법을 제공하는 것이다.

또한 본 발명의 다른 목적은 나노로드를 직접 전기소자의 전극위에 안정하게 형성시킬 수 있는 방법을 제공하는데 있다.

또한, 본 발명의 또 다른 목적은 균일하고 큰 표면적을 가지며 염료감응형 태양전지, 센서, 광촉매 등에 이용할 수 있는 산화티타늄 나노로드를 제공하는 것이다.

발명의 구성

상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 산화티타늄 나노로드의 제조방법은 고분자와 산화티타늄 전구체를 초극세 섬유상으로 만든 후 후처리에 의해 산화티타늄 나노로드를 제조하는 것을 특징으로 한다.

구체적으로는 산화티타늄 전구체와, 상기 전구체와 상용성인 고분자, 및 용매를 포함하는 혼합 용액을 준비하고, 상기 혼합 용액을 방사하여 상기 산화티타늄 전구체와 고분자간의 상분리에 의하여 내부에 미세한 섬유소가 포함된 산화티타늄 고분자 복합섬유를 형성하고, 상기 복합섬유를 열압착하고, 상기 복합섬유에서 상기 고분자 물질을 제거하여 산화티타늄 나노로드를 얻는 것을 포함하는 산화티타늄 나노로드 제조 방법을 제공한다.

제조된 산화티타늄 나노로드는 단결정 구조로 되어 있으며, 그 자체를 광촉매로 이용할 수도 있고, 산화티타늄 나노로드 집합체가 형성된 금속판, ITO 혹은 FTO가 코팅된 투명전도성 유리기판 또는 플라스틱기판을 이용하여 염료 감응형 태양전지, 광센서, 가스센서 등에 응용할 수 있다.

이하, 본 발명에 따른 산화티타늄 초극세 섬유로부터 나노로드 및 그의 제조하는 방법을 설명한다.

본 발명의 일실시예에서는 초극세 섬유를 얻기 위해 사용한 한 방법으로서 전기방사법을 이용하였다. 전기방사를 위하여 무기산화물의 졸-겔 전구체와 적당한 고분자용액을 혼합하여 사용한다. 이 때 고분자의 역할은 용액의 점도를 증가시켜 방사시 섬유상을 형성시키며 또한 무기산화물 전구체와의 상용성에 의해 방사된 섬유의 구조를 제어하는 것이다.

전기방사에 의해 얻어지는 무기산화물/고분자 복합섬유는 복잡한 형성과정을 동반한다. 도 1에 도시한 전기방사 장치를 보면, 방사용액이 고전압발생기로부터 대전된 방사노즐을 통하여 분사되어 접지된 전도성 기판까지 전기장에 의해 연신된다. 방사노즐로부터 접지된 기판으로 방사 용액의 제트흐름이 생성되는데, 이것은 콘 형태를 가지며 테일러 콘(Taylor cone)이라 불린다. 전기방사 장치의 방사노즐에서 형성되는 많은 양전하를 가지는 테일러 콘으로부터 방사가 시작되면, 우선 공기 중의 수분과 반응하여 무기산화물 전구체의 졸 상태에서 겔 상태로 변환이 일어난다. 이러한 졸-겔 변환과 함께 빠른 속도로 방사되면서 섬유의 직경이 가늘어지고 따라서 표면적이 증가하면서 사용된 용매가 휘발된다. 이 과정에서는 앞의 화학반응과 함께 용액의 농도가 급격히 변화한다. 또한 용매의 휘발에 의해 섬유 표면의 온도가 저하하고 이때 공기 중의 수분이 응축되어 졸-겔 변환 반응의 정도가 달라진다. 특히 무기산화물-고분자 혼합용액으로부터의 전기방사는 수분에 의해 반응이 진행되므로 방사장치 주위의 온도 및 습도가 중요한 공정변수로 작용한다.

전기 방사시 방사노즐로부터 토출된 방사용액에 포함된 산화티타늄 전구체의 졸-겔 반응이 수분에 의하여 일어나게 된다. 방사용액의 준비과정에서 이미 일부의 전구체는 산촉매에 의해 가수분해반응이 일어나 산화티타늄 졸 형태로 고분자용액과 섞여 있으며, 방사가 시작되면 보다 빠르게 겔화 반응이 진행된다. 겔화 반응이 진행되면서 함께 토출된 방사용액의 굵기가 짧은 시간 내에 가늘어지고 이때 섬유의 표면적이 매우 증가하여 용매의 휘발이 일어난다. 열역학적으로 상용성 상태에 있던 금속산화물 전구체와 고분자용액은 농도의 급격한 변화 및 겔화 반응에 의하여 상분리가 시작된다. 이 과정에서 사용한 고분자와 산화티타늄 전구체와의 상용성이 전기방사된 섬유의 구조에 큰 영향을 미친다.

전구체와 상용성이 좋지 않아 상평형이 유지되기가 힘든 고분자, 예로서 폴리스티렌 (Polystyrene, PS)를 매트릭스로 사용한 경우는 산화티타늄 도메인이 급격히 고체화 되어 전기방사된 섬유내부의 산화티타늄은 도 8과 같이 입자형태를 이루게 되어 본 발명에서 제조하고자 하는 나노로드의 생성에는 적합하지가 않다.

반면에 상용성이 우수한 고분자, 예로서 폴리비닐아세테이트 (poly(vinyl acetate), PVAc)의 경우에는 상분리가 천천히 진행되어 형성된 산화티타늄 도메인과 폴리비닐아세테이트 도메인이 유동성을 가지고 공존한다. 이때 급격한 용매의 휘발에 따른 섬유표면의 온도 저하는 주위에 존재하는 수분을 응축시켜 섬유내부와 표면의 겔화 반응이 서로 다르게 일어난다. 또한 각 도메인이 유동성을 가지는 경우 방사과정에서 도메인이 연신 되어 도 2b와 같이 섬유 내부에 섬유 축 방향으로 배향된 섬유소 구조의 도메인이 형성된다. 각 섬유소의 굵기는 약 15 nm 크기로 형성된다.

본 발명에서는 상분리 현상에 의해 미세한 산화티타늄 섬유소 구조를 제조하고 이로부터 열압착 처리에 의해 각 섬유소를 나노로드로 변형시키는 방법을 특징으로 한다. 120 °C 정도의 온도에서 열압착하는 과정에서 전기방사에 의해 방사된 섬유에 포함된 폴리비닐아세테이트가 일부 가소화되어 도 3과 같이 피막을 형성하고 이때 섬유소들이 분리되어 나노로드의 집합체로 형성된다. 이 나노로드 집합체를 450 °C 정도의 온도에서 열처리하여 폴리비닐아세테이트를 열분해하여 제거하면 산화티타늄 나노로드 만 남게 된다. 이 나노로드의 주사전자현미경 사진이 도 4a(x 20,000 배율) 및 4b(x 100,000 배율)에 도시되어 있다.

제조된 나노로드의 미세구조를 분석하기 위해 나노로드를 기관에서 분리하여 에탄올 속에서 초음파로 분해하여 개별 나노로드를 투과전자현미경으로 구조를 분석하여 도 5a에 나타내었다. 상기 방법에 의해 제조된 산화티타늄 나노로드는 15 nm 정도의 균일한 굵기를 가지고 있으며, 길이는 50~80 nm 가 되었다. 분리된 나노로드의 미세구조를 고정밀 투과전자현미경 (HRTEM)을 사용하여 초고배율로 구조를 분석하면 도 5b와 같다. 또한 도 5c와 같이 나노로드 축방향으로 일정하게 결정면이 성장하고 있음을 확인하였다. 특히 도 6의 전자회절도로부터 각 나노로드는 산화티타늄 단결정을 이루고 있고, 또한 성장방향은 길이방향이 결정구조의 [001] 축방향으로 동일하게 성장하는 나노로드를 형성하였다.

본 발명을 보다 상세히 설명하면, 우선 산화티타늄 전구체로서 티타늄 프로폭시드(titanium(IV) propoxide)의 졸겔 반응을 이용하여 전기방사용액을 제조한다. 구체적으로는, 먼저 산화티타늄과 친화력이 우수한 폴리비닐아세테이트를 디메틸포름아미드, 아세톤, 테트라하이드로퓨란, 톨루엔 또는 이들의 혼합용매에 용해시키고, 전기방사로부터 섬유 형성을 위해 적합한 점도를 형성하는 5 ~ 20 중량%의 고분자 용액을 제조한다. 폴리비닐아세테이트는 무게평균분자량이 100,000 ~ 1,000,000 g/mol인 고분자를 사용한다. 폴리비닐아세테이트 대신 폴리비닐피롤리돈, 폴리비닐알콜, 폴리에틸렌옥시드 등을 사용하여 고분자 용액을 제조할 수 있다. 다음으로, 티타늄 이소프로폭시드를 폴리비닐아세테이트 고분자 용액에 대하여 5 ~ 25 중량%의 양으로 고분자 용액에 첨가하고, 촉매로서 아세트산을 티타늄 프로폭시드에 대하여 20 ~ 60 중량%의 양으로 첨가한 후, 상온에서 1 ~ 5 시간 반응시킨 후 이를 전기방사용액으로 사용한다.

그 다음, 전기방사장치를 이용하여 전기방사된 초극세 산화티타늄 섬유를 얻는다. 도 1에서와 같이, 일반적인 전기방사장치는 방사용액을 정량적으로 투입할 수 있는 정량펌프에 연결된 방사노즐, 고전압 발생기, 방사된 섬유층을 형성시킬 전극 등으로 이루어진다. 사용목적에 따라서 접지된 금속판 혹은 투명전도성 유리기관, 구체적으로 ITO 또는 FTO가 코팅된 투명전도성 유리기관, 또는 플라스틱 기관을 음극으로 사용하고, 시간당 토출량이 조절되는 펌프가 부착된 방사노즐을 양극으로 사용한다. 전압 10 ~ 30 KV를 인가하고 용액 토출속도를 10 ~ 50 μ l/분으로 조절하여 섬유두께가 50 ~ 1000 nm인 초극세 산화티타늄 섬유를 제조할 수 있다. 초극세 산화티타늄 섬유로 이루어진 막이 5 ~ 20 μ m의 두께로 전극기관 상에 형성될 때까지 전기방사를 실시한다.

전기방사된 섬유가 적층된 판은 전처리 과정을 위하여 폴리비닐아세테이트를 사용한 경우 120 °C 혹은 사용한 고분자의 유리전이온도 이상에서 1.5 Ton의 압력으로 프레스에서 10분간 열압착처리를 한다. 이 과정에서 전기방사시 상분리에 의해 생성된 미세한 섬유소가 분리되어진다. 열압착처리 후 공기 중 450 °C에서 30분간 열처리하여 사용한 고분자를 분해시켜 제거하면 도 4a 및 4b와같이 형성된 산화티타늄 나노로드가 얻어진다. 이 때 열처리과정에서 산화티타늄은 아나타제형으로 결정화되며 나노로드는 각기 단결정의 형태로 축방향으로 일정하게 결정이 성장한다.

본 발명에 따른 산화티타늄 나노로드가 적층된 금속기관, 혹은 ITO 또는 FTO가 코팅된 투명전도성 유리기관은 태양전지 혹은 전기적 신호를 이용한 광센서, 가스센서 등의 전극기관으로 직접 이용할 수 있다.

또한 본 발명에 따라 형성된 산화티타늄 나노로드 쉬트(sheet)를 초음파 등의 적절한 방법으로 분쇄하면 산화티타늄 나노로드 분말을 얻을 수 있다. 이러한 산화티타늄 나노로드 분말을 광촉매로 이용하거나 적절한 바인더와 혼합하여 ITO 또는 FTO가 코팅된 투명전도성 유리기관 혹은 PET와 같은 투명플라스틱 필름에 코팅시켜 사용할 수도 있다.

본 발명에 따른 산화티타늄 전구체로부터 초극세 섬유를 제조하는 방법은 전기방사법에 국한된 것은 아니다. 산화티타늄 전구체 용액을 방사하는 과정에서 상분리에 의해 산화티타늄 나노로드의 제조가 가능한 초극세 섬유 제조 방법을 포함한다. 이러한 나노로드 제조용 초극세 섬유상 산화티타늄 전구체 섬유의 제조방법은 전기방사법(electrospinning)을 포함하여 멜트블로운법(melt-blown), 플래쉬방사(Flash spinning), 정전멜트블로운법(electrostatic-melt blown) 등을 이용할 수도 있다.

실시에 1: 폴리비닐아세테이트를 사용한 초극세 산화티타늄 섬유의 전기방사

폴리비닐아세테이트(Mw 850,000) 30 g을 아세톤 270 ml와 디메틸포름아미드 30 ml의 혼합용매에 용해시킨 고분자용액에 티타늄프로폭시드 6 g을 상온에서 천천히 첨가하였다. 이 때 용매의 수분에 의하여 반응이 개시되면서 현탁액으로 변한다. 다음으로, 반응축매로서 아세트산 2.4 g을 천천히 적하시켰다. 이 때 반응이 진행되면서 현탁액은 투명한 용액으로 변한다.

도 1의 전기방사장치를 이용하여 전기방사를 행하였으며, FTO가 코팅된 투명전도성 기관(10 cm × 10 cm 크기)을 음극으로 하고, 토출속도를 조절할 수 있는 펌프가 부착된 금속 니들(No. 24)을 양극으로 하여 두 전극 간에 15 KV의 전압을 인가하였다. 방사액의 토출속도를 30 μ l/분로 조절하여 총 토출량이 5,000 μ l가 될 때까지 전기방사하여 FTO가 코팅된 투명전도성 기관 위에 초극세 산화티타늄-폴리비닐아세테이트 복합섬유층을 형성시켰다. 본 실시예에 따라서 전기방사에 의해 적층된 초극세 섬유의 주사전자현미경 사진은 도 2a와 같다. 또한 450 °C에서 열처리하여 폴리비닐아세테이트를 제거한 후 섬유소를 형성한 산화티타늄 섬유의 주사전자현미경사진은 도 2b와 같다.

비교예 1: 폴리스티렌을 사용한 초극세 산화티타늄 섬유의 제조

폴리스티렌(분자량 350,000 g/mol, Aldrich)를 0.25 g/mL의 농도로 DMF에 녹인 후 티타늄프로폭시드를 0.19 g/mL의 농도로 첨가하고, 소량의 아세트산을 반응 축매로 첨가하여 티타늄프로폭시드의 졸화 반응을 진행시킨 후 실시예 1과 동일한 장치로 전기방사를 하였다. 전기방사후 산화티타늄-폴리스티렌 복합섬유를 450 °C에서 열처리하여 매트릭스로 사용한 폴리스티렌을 제거한 산화티타늄 섬유의 구조를 도 8에 나타내었다. 본 비교예에서는 실시예 1과 다르게 산화티타늄 섬유소를 형성하지 못하고 산화티타늄 입자로 형성되어 본 발명의 나노로드 제조용 섬유로는 적합하지 않았다.

실시에 2: 실시예 1에서 제조한 산화티타늄 섬유층이 형성된 기관의 전처리 및 열처리에 의한 나노로드 제조

실시에 1에서 제조한 산화티타늄 섬유층은 고분자와 산화티타늄이 혼합되어 있다. 따라서 이와 같은 고분자-산화티타늄 복합섬유가 적층된 기관을 본 발명에 따른 나노로드를 제조하기 위하여 140 °C로 가열된 프레스에서 1.5 Ton의 압력으로 10 분간 압착하여 전기방사에서 형성된 산화티타늄 섬유소를 분리시킨다. 이렇게 압착한 후 표면의 상태는 도 3과 같이 가소화된 폴리비닐아세테이트가 일부 변형되어 피막을 형성하고 있다.

상기 방법에 의해 열압착처리된 기관을 450 °C에서 열처리하여 포함된 폴리비닐아세테이트를 열분해에 의해 완전히 제거하고 또한 형성된 산화티타늄 나노로드를 결정화시킨다. 실시예 1과 2에 따라서 제조한 열처리후의 산화티타늄의 표면을 x20,000 배율로 관찰한 주사전자현미경 사진 도 4a와 같다. 이를 x100,000 배의 배율로 관찰한 주사전자현미경 사진은 도 4b와 같다. 도 4b와 같이 열처리후 산화티타늄 나노로드의 집합체로 잘 형성된 것을 알 수 있다.

실시에 3: 산화티타늄 나노로드 분말 제조

실시에 2에서 제조한 산화티타늄 나노로드 집합체로 전극위에 형성된 시트(sheet)를 분리하여 에탄올을 섞어 초음파를 인가하여 개별의 산화티타늄 나노로드로 분리하면 나노로드 분말을 얻을 수 있다. 나노로드 분말은 원심분리기에서 고형분을 침전시켜 응결건조법에 의해 에탄올을 제거하면 얻을 수 있다. 본 실시예에서 제조한 산화티타늄 나노로드의 결정형태는 고배율 투과전자현미경(도 5a 내지 도 5c)과 전자회절(도 6)로부터 폭이 약 15 nm이고 길이가 50 ~ 80 nm인 단결정으로 이루어진 것을 알 수 있다. 또한 도 7과 같이 X선 회절도로부터 아나타제 결정을 이루고 있음을 확인하였다.

발명의 효과

상기와 같이 이루어진 본 발명에 따른 산화티타늄 나노로드를 직접 응용하고자하는 전극 기관위에 형성시킬 수 있고, 또한 나노로드를 분리하여 이방성 입자로도 이용할 수가 있는 장점이 있다. 기관 위에 형성시킨 나노로드를 큰 표면적을 가지므로 염료 감응형 태양전지 혹은 전기적 신호를 이용한 광센서, 가스센서 등의 기관으로 직접 이용할 수 있다. 또한 상기 나노로드를 광촉매로 이용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에서 이용한 전기방사장치를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 2a 및 2b는 본 발명의 실시예에 따라 폴리비닐아세테이트를 사용하여 제조한 전기방사된 초극세 산화티타늄 섬유층의 주사전자현미경 사진으로서, 도 2a는 전기방사된 산화티타늄-폴리비닐아세테이트 복합섬유, 도 2b는 450 °C 열처리 후 폴리비닐아세테이트를 제거한 산화티타늄 섬유층을 보여준다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 전기방사된 초극세 산화티타늄 섬유층의 열압착 후의 주사현미경 사진이다.

도 4a 및 도 4b는 본 발명의 실시예에 따라 전기방사된 초극세 산화티타늄 섬유층으로부터 열처리 후의 주사전자현미경 사진으로, 도 4a는 x20,000 배율, 도 4b는 x100,000 배율 사진이다.

도 5a 내지 5c는 본 발명의 실시예에 따라 제조된 산화티타늄 나노로드의 투과전자현미경 사진이다.

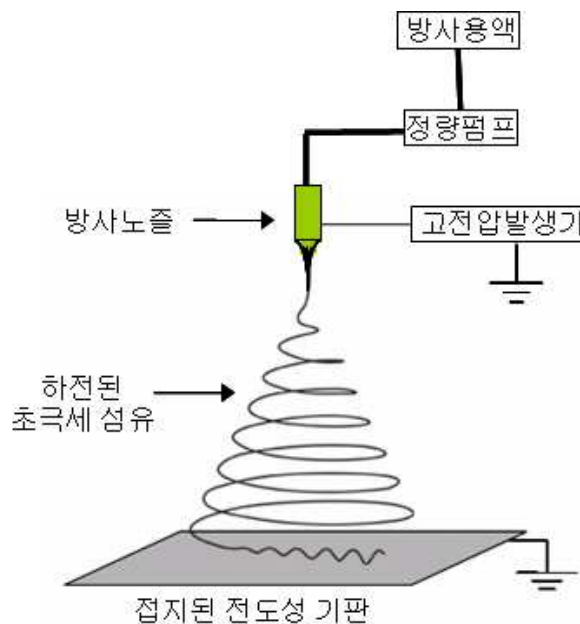
도 6은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 산화티타늄 나노로드의 전자회절 사진이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따라 제조된 산화티타늄 나노로드의 X선 회절도 이다.

도 8은 본 발명의 비교예에 따라 폴리스티렌을 사용하여 전기방사된 산화티타늄섬유의 450 °C에서 30분간 열처리 후의 주사전자현미경 사진이다.

도면

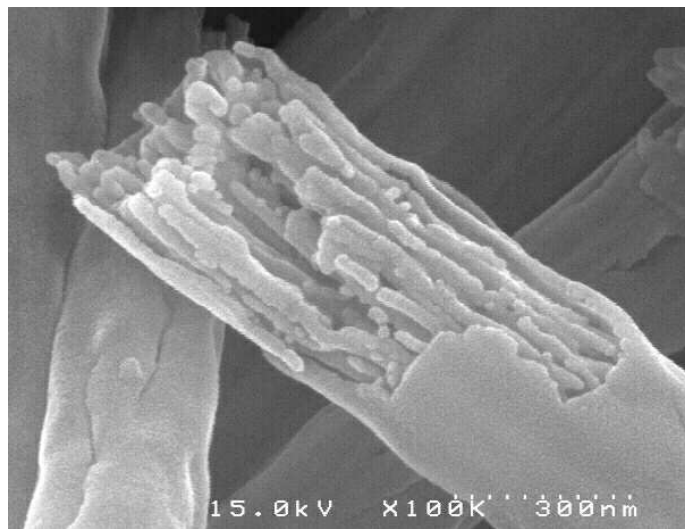
도면1



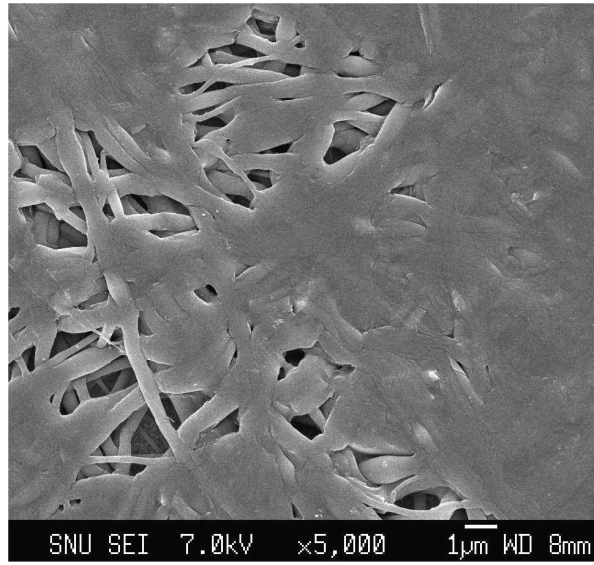
도면2a



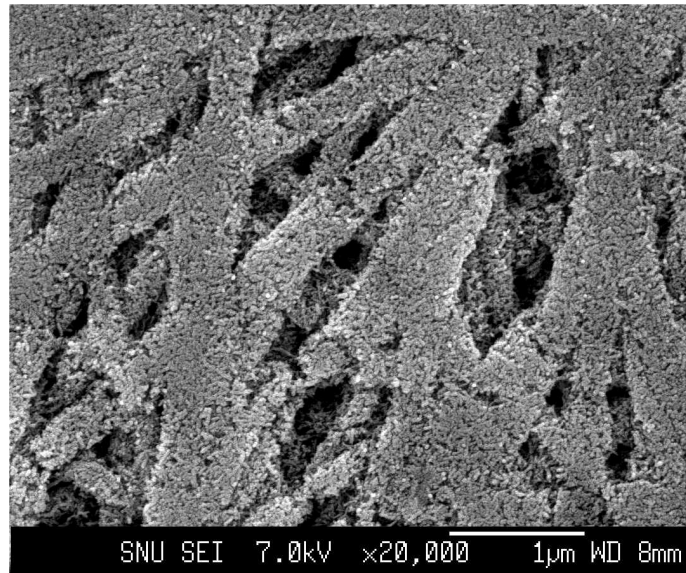
도면2b



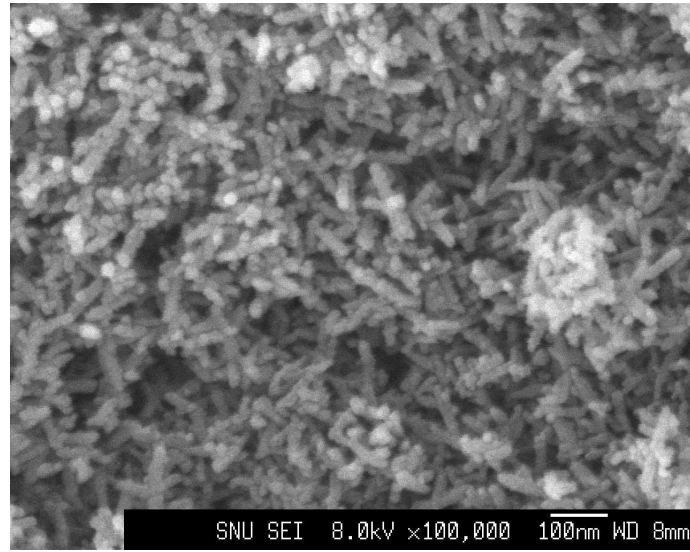
도면3



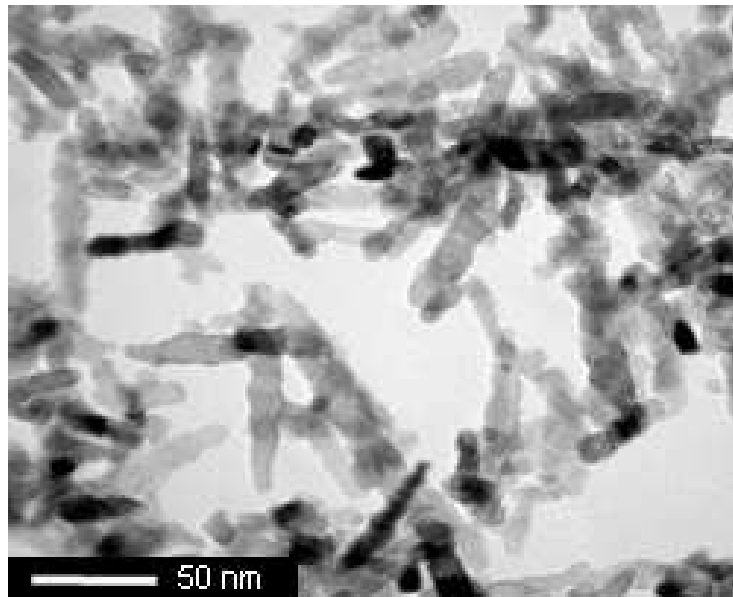
도면4a



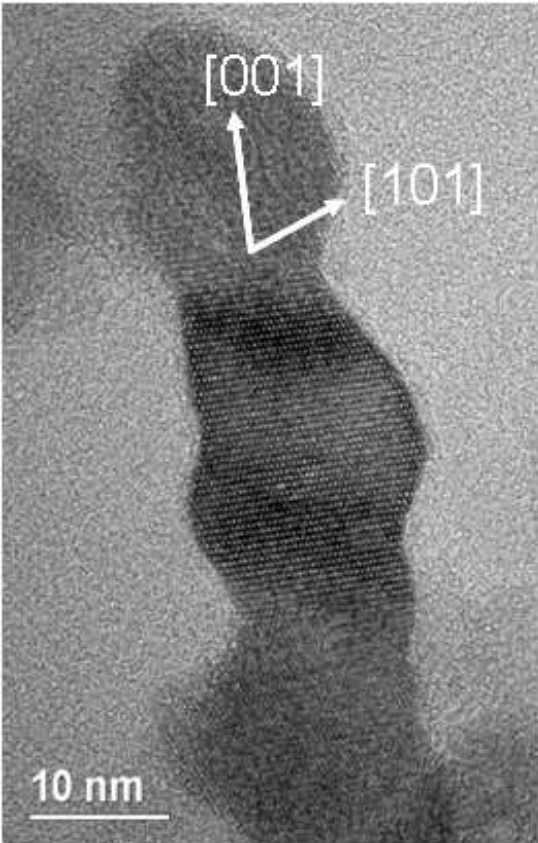
도면4b



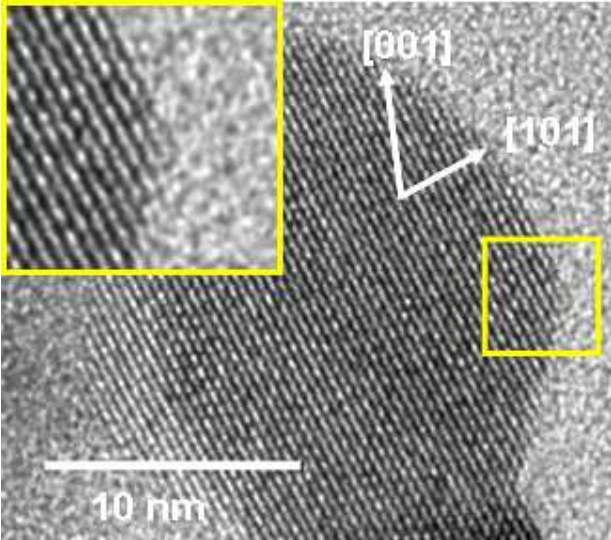
도면5a



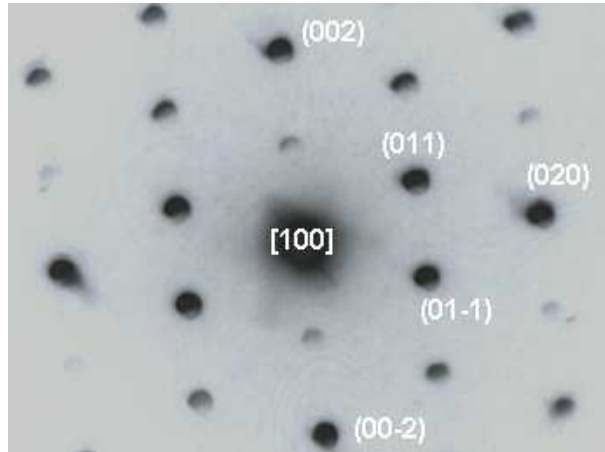
도면5b



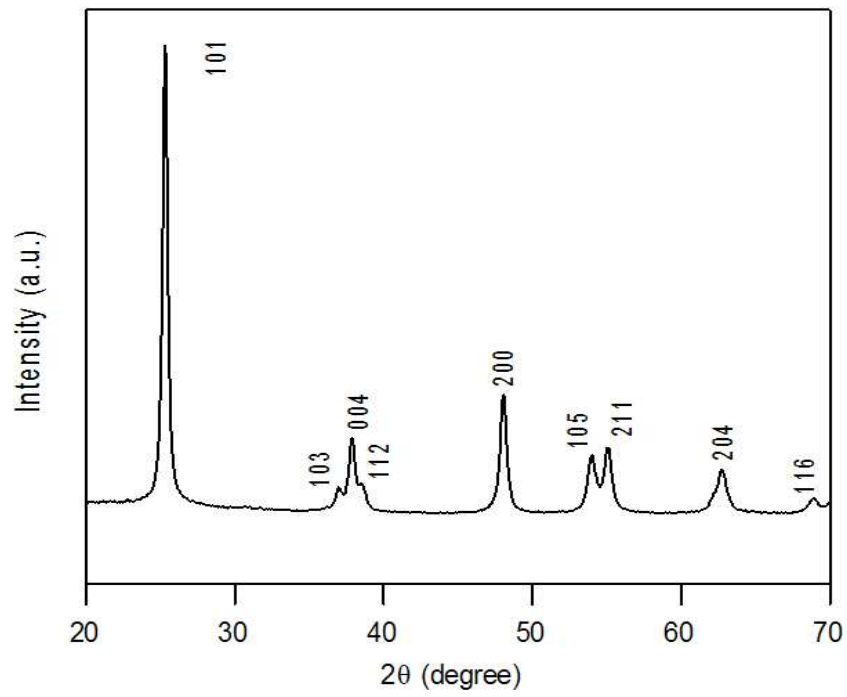
도면5c



도면6



도면7



도면8

