(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0086615
(43) 공개일자 2010년08월02일

(51) Int. Cl.
B01J 21/06 (2006.01) *C01G 23/047* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0005929
(22) 출원일자 2009년01월23일
심사청구일자 2009년01월23일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 궁동 220번지 충남대학교
(72) 발명자
김의태
대전 중구 태평2동 410-18
(74) 대리인
김원준

전체 청구항 수 : 총 8 항

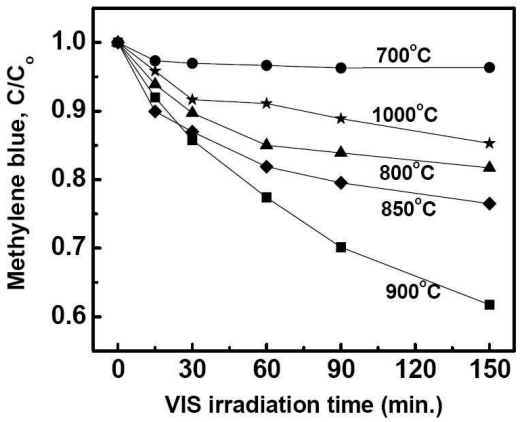
(54) 자외선 및 가시광선 감응 이산화티탄 광촉매의 제조방법

(57) 요 약

본 발명은 자외선 뿐 아니라 가시광선에 감응하여 광촉매 활성을 나타내는 탄소가 도핑된 이산화티탄 광촉매에 관한 것으로, 보다 구체적으로 티타늄(Ti)을 메탄가스 및 산소 분위기하에서 열처리를 하는 것을 특징으로 하는 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조방법 및 이에 의해 제조된 광촉매에 관한 것이다.

본 발명의 TiO_2 제조 방법에 의하면, 메탄가스 분위기 하에서 간단한 열처리를 통해 자외선 및 가시광선에 감응하는 TiO_2 광촉매를 저비용으로 제조할 수 있다. 또한 상기 제조된 TiO_2의 가시광선 광감응 특성은 태양전지의 전극재료로도 효율적으로 사용될 수 있다.

대 표 도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 000269160108 / R01-2008-000-20756-0

부처명 중소기업청 / 한국과학재단

연구사업명 산학공동기술개발사업 / 특정기초연구사업

연구과제명 TiO2나노선 기반 가시광선 감응 광촉매 청청필터 개발 / 나노선-양자점 간의 광여기 캐리어 이동특성 연구와 고효율태양전지로의 응용

주관기관 충남대학교

연구기간 2008. 7. 1~2009. 6. 30 / 2008. 9. 1~2011. 8. 31

특허청구의 범위

청구항 1

티타늄(Ti)을 메탄가스 및 산소 분위기하에서 열처리를 하는 것을 특징으로 하는 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 티타늄은 티타늄 박막 또는 분말인 것을 특징으로 하는 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 메탄가스 및 산소 분위기는 대기 중에 메탄가스를 첨가하여 조성된 것을 특징으로 하는 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 메탄가스 및 산소 분위기는 열처리로 내의 공기를 진공 또는 퍼징으로 제거한 후 메탄가스와 산소를 첨가하여 조성된 것을 특징으로 하는 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 메탄가스에 대한 산소의 부피비는 0.1~10%인 것을 특징으로 하는 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조방법.

청구항 6

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 열처리는 700~1000℃에서 0.5~3시간 이루어지는 것을 특징으로 하는 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조방법.

청구항 7

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 메탄가스의 분압은 0.5~10 torr인 것을 특징으로 하는 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조방법.

청구항 8

제 1 항 내지 제 4 항의 중 한 항의 방법에 의해 제조된 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 광촉매 반응을 일으킬 수 있도록 비표면적이 넓으며, 자외선 뿐 아니라 가시광선에 감응하여 광촉매 활성을 나타내는 탄소가 도핑된 이산화티탄 광촉매를 경제적으로 대량 생산할 수 있는 제조 방법 및 그 방법에 의해 제조된 가시광선 감응 이산화티탄 광촉매에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 현재 많은 분야에서 대기의 공해물질 제거 및 수질 정화를 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.[1] 그중 가장 이슈가 되고 있는 것은 반도체 광촉매로서, 이를 이용하여 다양한 종류의 난분해성 유기물질을 분해하는 방법이 신기술로 각광을 받고 있다. 반도체 광촉매는 밴드갭 이상의 에너지를 가지는 빛이 입사되면 내부에 전자(e-)와 정공(h+)쌍이 생성되면서 산화, 환원반응을 통하여 촉매 표면에 흡착된 유기물질을 분해하는 것에 의해 오염물질을 제거한다.[1-4] 광촉매는 이외에도 물을 산소와 수소로 분해하여 에너지원으로도 사용할 수 있는 등[4] 다양한 분야에 응용이 가능하기 때문에 현재 국내 및 외국 시장규모가 점차 늘어나고 있다.

[0003] 광촉매 물질로는 여러 반도체 물질이 연구되고 있지만, 그중 티타늄 산화물(TiO_2)은 빛에 의한 부식성이 없고 생물학적, 화학적으로 무해하여 인체에 영향을 주지 않을뿐더러 광촉매의 용매로 사용되는 산, 염기 및 유기용매에 대해 안정적이며 경제적인 측면에서 저렴하기 때문에 가장 많이 사용되고 있다.

[0004] 그러나 TiO_2의 경우 밴드갭 에너지가 ~3-3.2eV로 여기를 위해서는 자외선 영역대의 빛을 필요로 한다. 태양광 중 지표면에 도달하는 자외선은 태양광의 3% 미만에 불과하기 때문에 TiO_2를 광촉매로 활용하기 위해서는 고가의 UV 램프를 별도로 설치해주어야 하는 단점이 있다. 또한 UV 빛 자체는 인체에 유해하게 작용하기 때문에 태양광의 대부분을 차지하며 안전한 가시광선에 감응하는 광촉매의 개발이 요구된다.

[0005] 이러한 요구에 부응하여 초기에는 가시광선 영역대의 빛을 흡수할 수 있는 천이금속(Fe, Cr, Co 등)을 이산화티탄 내에 도핑하여 가시광선 영역대의 빛을 활용함과 동시에 전자수용체로서의 역할을 병행할 수 있도록 하거나, CdS/TiO_2처럼 서로 다른 밴드갭 에너지를 갖는 두가지 광촉매를 함께 사용함으로써 서로의 밴드갭 에너지 준위를 상호 보완하여 가시광선 하에서 활성을 보일 수 있도록 하였다. 그러나 밴드갭 에너지를 효과적으로 변화시키지는 못하여 가시광선 영역대의 폭넓은 영역을 포함하지 못한 문제가 있었다. 또한 금속의 가장 직접적인 도핑 방법으로서는 이온 임플란테이션 방법이 있으나, 고가의 장비가 필요하고 제조단가가 큰 단점이 있다.[5]

[0006] 한편, 2001년 Y. Taga 그룹에서 모델링을 통하여, 이산화티탄 결정에서 O를 C, N, F, P, S로 치환해 주는 비금속 도핑에 의해 가전자대(balance band)의 준위를 보완함으로써 가시광선에서도 활성을 보일 수 있음을 보였다. 실제로 N 도핑을 통해서 가시광선에서 활성을 나타냄을 보고한 이후, 이 방향으로의 접근이 매우 활발히 시도되고 있는 실정이다.[2,3] 티타늄 이소프로폭사이드와 Acac(2,4-pentadione)의 반응에 의해 TiO_2 광촉매를 제조한 등록특허 제649160호에서처럼 화학적 합성에 의해 탄소가 도핑된 TiO_2 광촉매 분말을 제조할 수 있다. 그러나, 이러한 제조방법은 값비싼 시료를 사용하여야 할 뿐 아니라 제조되는 형상도 분말로 한정되는 한계가 있다. Khan 등은 천연가스의 화염을 이용해 연소 산물인 CO_2와 steam을 도핑 원료로 사용하여 Ti 금속 sheet를 열분해하여 탄소가 도핑된 이산화티탄을 제조하였다.[6] 그러나, 상기 화염열처리 방법에서는 도핑원료인 CO_2의 공급과 열처리 온도가 천연가스의 연소에 의해 결정되기 때문에 독립적이고 정밀한 제어가 곤란하다. 또한 천연가스에 포함된 여러 가지 원하지 않는 성분들에 의한 불순물 유입 등으로 고순도, 고품질의 TiO_2 광촉매 제조가 어려운 문제가 있다. 뿐만 아니라, 천연가스의 주성분인 메탄가스는 부피함량이 5~15%가 되는 공기 혼합체

에서 폭발성을 갖기 때문에 메탄가스와 산소를 동시 공급하는 화염열분해(flame pyrolysis) 보다 안전한 방법이 요구된다.

[0007] 최근 대량 생산 체제 하에서 공정비용을 낮추면서도 상기의 비금속이나 금속이온들을 TiO_2 내에 효과적으로 도핑할 수 있는 기술개발에 대한 관심이 커지면서 많은 연구개발이 진행되고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0008] 본 발명은 자외선 뿐 아니라 가시광선 하에서도 TiO_2가 광촉매반응을 일으킬 수 있도록 탄소를 TiO_2 내에 저비용으로 도핑할 수 있는 기술을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0009] 또한 본 발명은 이와 동시에 광촉매반응을 일으킬 수 있는 비표면적을 증가시켜 광촉매 활성이 크게 향상된 TiO_2 광촉매 다양한 형태로 제조할 수 있는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0010] 본 발명의 또 다른 목적은 상기 방법에 의해 제조된 가시광선 감응 TiO_2 광촉매를 제공하는 것이다.

과제 해결수단

[0011] 전술한 과제를 해결하기 위한 본 발명은, 티타늄(Ti)을 메탄가스 및 산소 분위기하에서 열처리를 하는 것을 특징으로 하는 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조방법에 관한 것이다. 상기 티타늄은 형상에 제한이 있는 것은 아니나, 열처리에 의해 표면만이 개질되므로 티타늄 금속 덩어리 상태보다는 박막 또는 분말인 것이 바람직하다.

[0012] 상기 열처리 과정을 통하여 티타늄 금속은 미량의 산소와 반응하여 이산화티탄으로 산화되면서, 열분해된 메탄가스에 의해 탄소가 TiO_2내로 도핑될 수 있게 된다. 즉, 메탄가스와 산소분위기에서 산소는 티타늄 금속을 산화시켜 이산화티탄을 형성시키는 데 이용되며, 메탄가스는 탄소의 도핑 원료로서 작용한다. 도핑된 탄소는 TiO_2 밴드갭 내에 결함준위를 형성하게 되며 가시광선 입사시 형성된 결함준위를 통하여 전자와 정공이 생성된다. TiO_2 표면으로 확산된 전자와 정공은 산화/환원 반응을 통해 광촉매특성에 기여하게 된다. 화염열처리 방법에 비하여 본 발명의 열처리 방법은 열처리로에 에너지를 가하여 도핑온도를 조절하는 한편, 도핑원료인 메탄가스를 별도로 투입하기 때문에 온도와 도핑원료의 투입량을 독립적으로 정밀하게 제어할 수 있다.

[0013] 상기 메탄가스 및 산소 분위기는 일반 대기중에 메탄가스를 투입하거나, 열처리 장비 내부의 공기를 제거한 후 메탄가스를 투입하여 조성할 수 있다. 대기 중에 메탄가스를 투입하여 열처리하는 경우는, 실질적인 대량 생산에 보다 유리하며, 내부를 진공으로 만들거나 메탄가스로 퍼징(purging)하여 공기를 제거한 후 메탄가스 분위기를 조성하는 경우에는 낮은 압력하에서도 메탄가스의 비율이 높아 탄소의 도핑이 보다 효과적으로 이루어 질 수 있다. 내부의 공기를 제거한 후 메탄가스를 투입하는 경우에는 티타늄의 산화를 위하여 미량의 산소를 혼합하여 투입하는 것이 바람직하다. 산소의 혼합량은 티타늄을 산화시킬 수 있을 정도면 충분하므로 전체 열처리로의 부피와 열처리되는 티타늄의 양에 따라 결정될 것이나 안전성을 위하여 메탄가스의 0.1~10% 부피비인 것이 바람직하다. 티타늄은 산화가 매우 잘 되는 금속으로 실시예에서와 같이 열처리로의 크기에 비해 티타늄의 양이 매우 적은 경우에는 별도로 산소를 투입하지 않아도 진공 조건 후 잔류하는 미량의 산소 및/또는 메탄가스에 불순물로 존재하는 산소만으로도 이산화티탄이 효과적으로 형성되었다.

[0014] 상기 열처리 분위기에서 메탄가스의 분압은 0.5~10 torr인 것이 바람직하다. 메탄가스의 농도가 너무 낮은 경우 메탄가스의 열분해에 의해 생성되는 탄소이온의 농도가 낮아지므로 효과적인 도핑이 어렵고, 반응성이 높은 메탄가스의 농도가 높아지면 안전성과 경제성이 낮아지므로 상기 농도에서 처리하는 것이 좋다.

[0015] 상기 열처리는 700~1000℃에서 0.5~3시간 이루어지는 것이 바람직하며, 850~950℃에서 이루어지는 것이 더욱 바람직하다. 온도가 700℃ 이하로 낮은 경우 메탄가스의 분해 및 탄소 도핑 효율이 낮아짐에 따라 가시광선 광촉매특성이 낮아지게 된다. 열처리온도가 높아짐에 따라 가시광선 광촉매특성이 크게 향상되는 경향을 보였으며 실시예에 의하면 900℃에서 열처리하는 경우 가장 좋은 특성을 보였다. 그러나 열처리온도가 1000℃인 경우에는 오히려 광촉매특성이 현저히 감소하는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 TiO_2 표면의 형상과도 밀접한 연관이 있는 것으로 판단된다. 열처리온도가 높아짐에 따라 열처리된 후 TiO_2 표면에 밑변이 ~100-200nm인 돌기형태의 결정상들이 많이 형성됨을 볼 수 있다. 이러한 돌기 결정상들은 광촉매반응을 일으킬 수 있는 TiO_2 비표면적을 크게 증가시키게 된다. 그러나 1000℃에서는 상기 돌기형태의 결정상들이 서로 합쳐지면서 보다 평탄한 표면을 형성하게 되고 광촉매반응이 크게 감소되는 것으로 사료된다.

[0016] 열처리에 의한 탄소의 도핑은 열처리 온도에 크게 좌우되며 열처리 시간은 온도에 비해 큰 영향을 주지는 않았으며 0.5~3시간의 범위가 바람직하였다(데이터 미도시). 이러한 결과는 도핑반응이 온도에 대해서는 지수함수(exponential)적으로 의존하는 것에 반하여, 반응시간에 대해서는 일차함수(linear)적으로 의존하는 경향과 잘 일치하였다. 그러나 열처리 시간이 너무 짧으면 탄소 도핑이 효율적으로 이루어지지 않는 것은 당연하며, 열처리 시간이 길어지는 경우에는 온도 변화에 의한 효과만큼 극적인 효과가 없으므로 시간을 길게 유지하는 것보다는 최적 온도에서 상기 시간범위로 처리하는 것이 바람직하다.

[0017] 본 발명은 또한 상기 방법에 의해 제조된 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매를 제공한다. 본 발명의 방법에 의해 제조된 TiO_2 광촉매는 가시광선 뿐 아니라 자외선에도 감응하여 별도의 UV 광원이 없더라도 태양광의 대부분을 차지하는 가시광선을 효과적으로 이용할 수 있다. 보다 센 광도의 입사를 위하여 별도의 광원을 설치한다 하더라도 인체에 유해한 UV 램프를 사용할 필요가 없으므로 보다 안전한 조건에서 광촉매로 이용이 가능하다. 또한, 본 발명에 의한 광촉매는 비표면적이 넓어 표면의 유기물질과 접촉하는 면적이 넓기 때문에 광촉매로서 특성이 보다 우수하다.

효 과

[0018] 이상과 같이 본 발명의 TiO_2 제조 방법에 의하면, 메탄가스 분위기 하에서 간단한 열처리를 통해 자외선 및 가시광선에 감응하는 TiO_2 광촉매를 저비용으로 제조할 수 있다.

[0019] 또한 상기 제조된 TiO_2의 가시광선 광감응 특성은 태양전지의 전극재료로도 효율적으로 사용될 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0020] 이하 첨부된 도면과 실시예를 참조하여 본 발명을 보다 상세히 설명한다. 그러나 이러한 실시예는 본 발명의 기술적 사상의 내용과 범위를 쉽게 설명하기 위한 예시일 뿐, 이에 의해 본 발명의 기술적 범위가 한정되거나 변경되는 것은 아니다. 또한 이러한 예시에 기초하여 본 발명의 기술적 사상의 범위 안에서 다양한 변형과 변경이 가능함은 당업자에게는 당연할 것이다.

[0021] **실시예**

[0022] **실시예 1 : 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 제조**

[0023] 가시광선 감응 TiO_2 광촉매를 제조하기 위하여, 먼저 실리콘 웨이퍼 상에 스퍼터링법에 의해 Ti 금속층이 700nm 두께로 증착된 기판을 준비하였다. 상기 기판을 튜브 전기로에 장입한 후 진공펌프를 사용하여 전기로를 진공상태로 유지하였다. 이후 전기로의 온도를 열처리 온도인 700-1000℃ 까지 승온하였다. 전기로의 온도가 열처리 온도에 도달하면 2torr의 압력을 유지하도록 150SCCM의 유속으로 메탄가스(스페셜가스, 순도≥99.995%)를 흘려주면서 1시간 동안 열처리온도를 유지하여 탄소가 도핑된 가시광선 감응 TiO_2 광촉매를 제조하였다.

[0024] **실시예 2 : 자외선 및 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 결정구조 분석**

[0025] 실시예 1에서 제조된 TiO_2 광촉매의 표면형상과 결정구조를 각각 주사전자현미경과 X선 회절법을 사용하여 조사하고 그 결과를 도 1과 도 2에 각각 도시하였다.

[0026] 도 1은 열처리 온도에 따른 TiO_2 광촉매의 표면형상을 보여주는 사진으로, (a) 700℃, (b) 800℃, (c) 850℃, (d) 900℃ 및 (e) 1,000℃에서 각각 열처리된 TiO_2 박막의 주사전자현미경 사진이다. 도 1에서 보는 것과 같이 열처리온도 700℃에서 TiO_2가 Ti 금속 기판의 표면에서 형성됨에 따라 표면이 거칠어졌다. 열처리온도를 800℃로 증가시킨 경우 표면에서 밑변 ~100-150nm의 결정상들이 형성되면서 표면 비표면적이 크게 증가되는 것을 확인할 수 있었으며, 열처리 온도를 850℃로 더욱 증가시킨 경우 결정상들의 밑변 크기가 ~100-200nm로 더욱 증가하였다. 열처리 온도가 900℃의 경우 결정상들이 성장하면서 각주형태의 결정상이 형성되는 것을 볼 수 있었다. 그러나 1,000℃로 열처리하는 경우 결정상들이 서로 합쳐진 형상이 보이면서 표면의 비표면적이 오히려 감소하였다.

[0027] 도 2는 열처리 온도에 따른 TiO_2 광촉매의 회절패턴을 보여주는 그래프이다. 도 2로부터 Ti 기판을 실시예 1의 방법에 따라 700~1,000℃에서 열처리한 모든 기판에서 rutile 상의 TiO_2가 형성되었음을 확인할 수 있었다. 특히 rutile (111) 상이 가장 우세하여 표면의 돌기 형태의 결정상들이 rutile (111) 상으로 우선 성장되었음을 의미하는 것으로 사료된다.

[0028] **실시예 3 : 가시광선 감응 TiO_2 광촉매의 광특성 분석**

[0029] 실시예 1에서 제조된 TiO_2의 광촉매 특성을 메틸렌 블루(methylene blue) 수용액의 분해정도로 평가하였다. 보다 구체적으로, 10^{-5}mol/l 농도의 메틸렌 블루 수용액 10mL에 실시예 1에서 제조한 TiO_2의 광촉매 기판 1cm × 1cm를 담그고 기판에 수직하게 가시광선 또는 자외선을 조사하였다. 가시광선의 광원으로는 100W quartz 램프를 사용하였으며 빛의 세기는 100mW/cm^2이었고, 자외선의 광원으로는 365nm 파장의 UV 램프를 사용하였고 빛의 세기는 10mW/cm^2로 입사하였다. 가시광선 또는 자외선을 조사하면서 조사 시간에 따라 UV-VIS spectroscopy를 이용하여 흡광도를 측정하여 조사 전 흡광도에 대한 비율로 분해정도를 평가하였다.

[0030] 도 3은 가시광선에 대한 광촉매의 특성을 보여주는 그래프이다. 도 3에서 확인할 수 있듯이 가시광선이 조사되는 시간이 증가함에 따라 TiO_2의 광촉매 반응에 의해 유기물인 methylen blue가 분해되면서 그 농도가 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 열처리 온도가 증가함에 따라 가시광선 광촉매 반응이 더욱 활발히 일어나게 되어 900℃에서 열처리한 TiO_2이 가장 높은 광촉매 효율을 나타내었다. 이는 열처리 온도가 올라감에 따라 메탄가스의 열분해와 분해된 탄소의 도핑효율이 향상되기 때문으로 사료된다. 또한 돌기 및 각주형태의 표면형상의 형성에 따른 광촉매 반응을 일으킬 수 있는 비표면적이 늘어나면서 광촉매특성이 크게 향상되는 것으로 보인다. 그러나 열처리 온도가 1,000℃인 경우에는 광촉매 반응이 오히려 현저히 감소하였는데, 이는 도 1에서 보여진 것과 같이 비표면적이 크게 줄어들었기 때문이라 생각된다.

[0031] 도 4는 상기 제조된 TiO_2의 자외선에 대한 광촉매 특성을 보여주는 그래프이다. 열처리온도를 700℃에서 800℃로 증가시킨 경우에는 자외선에 의한 광촉매 반응의 큰 차이를 볼 수 없었다. 그러나 850℃로 열처리온도가 올라감에 따라 광촉매반응도 향상되는 것을 볼 수 있었으며 900℃에서 가장 좋은 특성을 보였다. 1000℃에서 열처리한 경우에는 가시광선에 대한 광촉매 특성과 마찬가지로 광촉매 반응이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 TiO_2의 비표면적이 줄어듦에 따른 결과로서 가시광선 광촉매특성 결과와 잘 부합되는 것으로 사료된다.

[0032] **<참고문헌>**

[0033] 1. D. S. Ollis, H. Al-Ekabi, Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, (Elsevier, Amsterdam, 1993).

[0034] 2. M. R. Hoffmann, S. T. Martin, W. Choi, D. W. Bahnemannt, Chem. Rev. 95, 69 (1995).

[0035] 3. R. Asahi, T. Morikawa, T. Ohwaki, K. Aoki, Y. Taga, Science 293, 269 (2001).

[0036] 4. A. Fujishima, K. Honda, Nature 238, 37 (1971).

[0037] 5. A. Ghicov, J. M. Macak, H. Tsuchiya, J. Kunze, V. Haeublein, L. Frey, P. Schmuki, Nano Lett. 6, 1080 (2006).

[0038] 6. S. U. M. Khan, M. Al-Shahry, W. B. Ingler Jr., Science 297, 2243 (2002).

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1은 본 발명에 의한 TiO_2 광촉매 막의 열처리 온도에 따른 표면형상을 보여주는 주사전자현미경 사진.

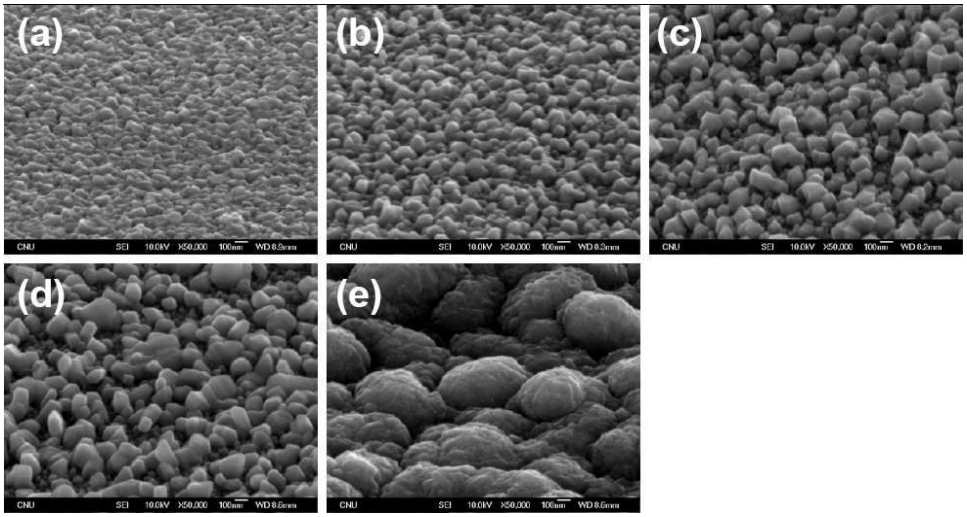
[0040] 도 2는 본 발명에 의한 TiO_2 광촉매 막의 열처리 온도에 따른 결정구조를 보여주는 X선 회절 패턴.

[0041] 도 3은 본 발명에 의한 TiO_2 광촉매 막의 열처리 온도에 따른 가시광선 감응 광촉매 특성을 보여주는 그래프.

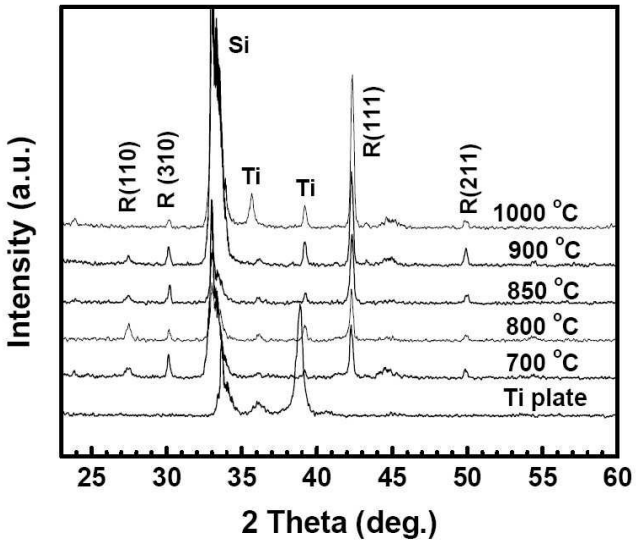
[0042] 도 4는 본 발명에 의한 TiO_2 광촉매 막의 열처리 온도에 따른 자외선 감응 광촉매 특성을 보여주는 그래프.

도면

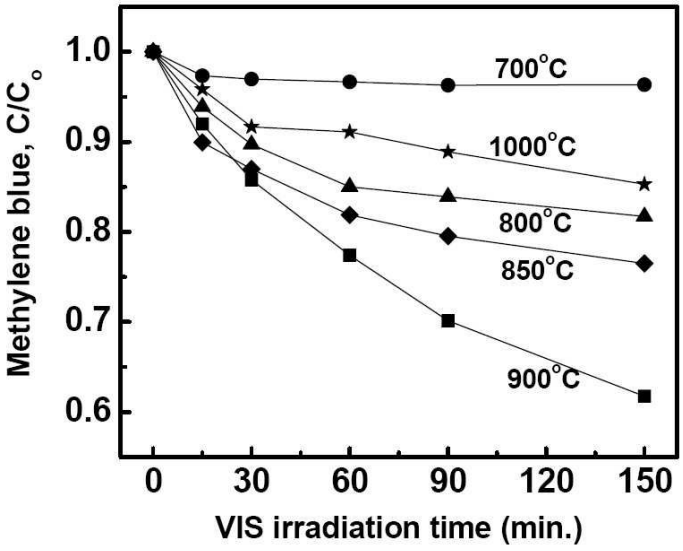
도면1



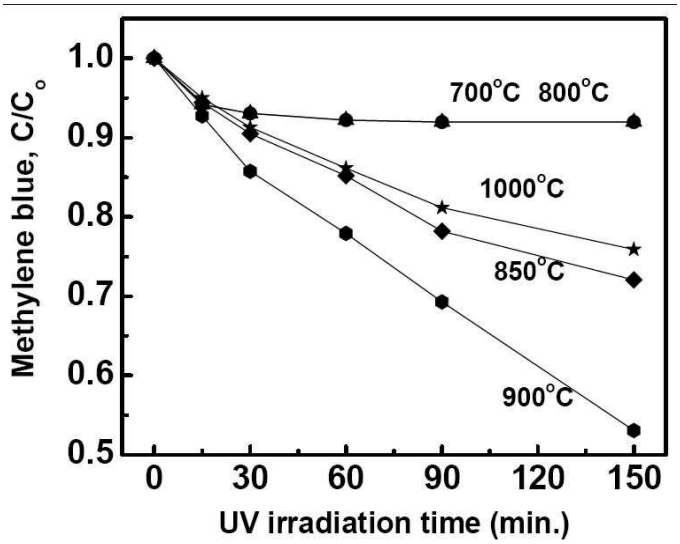
도면2


Si
R(110)
R (310)
Ti
Ti
R(111)
R(211)
1000 °C
900 °C
850 °C
800 °C
700 °C
Ti plate
Intensity (a.u.)
25
30
35
40
45
50
55
60
2 Theta (deg.)

도면3


1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
Methylene blue, C/C$_o$
700°C
1000°C
800°C
850°C
900°C
0
30
60
90
120
150
VIS irradiation time (min.)

도면4


Methylene blue, C/C$_o$
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0
30
60
90
120
150
UV irradiation time (min.)
700°C 800°C
1000°C
850°C
900°C