

나노신소재연구실

책임교수



성명

황성주

소속

화학 · 나노과학과

주요
학력

1988-1992 서울대학교 학사 - 화학

1992-1994 서울대학교 석사 - 화학

1994-1998 서울대학교 박사 - 화학

1997-2001 Université Bordeaux I 박사 - 화학

구성원

직책	인원	성명(담당분야)
박사 후 연구원	2명	Jayavant L. Gunjarkar(Layered Double Hydroxide 나노시트를 기반으로 하는 고효율 가시광 광촉매 개발) Sharad Bandu Patil(실리콘 전극물질의 경제성 있는 합성법 개발)
박사과정	2명	김인영(금속 산화물의 저차원 나노구조를 이용한 리튬이차전지 및 슈퍼커패시터 전극 소재 및 광촉매, 태양전지 소재 개발) Adpakpang Kanyaporn(전이금속 산화물, 실리콘 나노입자 기반 나노컴포지트 전극 물질 합성 및 특성 평가)
석사과정	9명	진형빈(금속 산화물을 이용하여 광촉매 활성을 지니는 나노혼성체 개발) 신수인(금속산화물 나노시트와 그래핀 나노시트간 혼성화를 통한 연료전지 촉매 개발) 조윤경(Ag 산소산염 나노입자를 포함하는 나노혼성체 광촉매 개발) 이장미(Layered Double Hydroxide 나노시트의 혼성화를 통한 가시광 물분해 광촉매 개발) 오승미(금속 산화물의 저차원 나노구조체를 이용하여 리튬 이차전지 개발) 김수정(화학치환법을 이용한 저차원 나노구조 금속산화물 전극성능 향상법 연구) 조경연(우수한 전극성능을 갖는 그래핀 기반 나노혼성체 합성) 박수혜(금속산화물 나노시트 기반 유전체 및 광촉매 박막 제조) 김효연(금속 산화물 나노시트를 이용한 비백금계 연료전지 촉매 개발)

산학협력 희망분야

- 가시광 하 광촉매 활성화와 우수한 흡착능을 갖는 다공성 나노혼성체 합성 기술 보유. 이를 이용한 환경 정화 및 청정에너지 생산 분야 응용. 수처리에 활용 시에는 매우 효과적으로 유기물을 포함한 오염 물질을 제거할 수 있으며, 또한 박막 형태로 제조 시에는 항균 소재로 활용 가능함.
- 금속 산화물 저차원 나노구조체와 탄소소재와의 혼성화를 통한 나노혼성체 합성 기술. 우수한 에너지 밀도 및 출력특성을 갖는 리튬 이차전지 및 슈퍼커패시터용 전극, 연료 전지용 전극으로 응용 가능함.

대표연구분야

- 리튬 이차전지 및 슈퍼커패시터용 전극 소재 개발
- 물분해 및 환경정화용 가시광 광촉매 및 태양전지용 전극 소재 개발
- 비백금계 연료전지용 촉매 소재 개발
- 무기화합물 기반 다공성 온실가스 흡착제 개발
- 산화환원 촉매 개발
- 무기화합물, 그래핀 2차원 나노시트 등 저차원 무기/탄소 나노구조체 및 나노혼성체 개발

연구실적(최근 3년간)

- 논문 게재 수 : 40편
- 특허실적 : 특허국내출원 18건, 등록 8건, 특허해외출원 1건

연 도	제 목	학술지명
2010	Electronic structure and local atomic arrangement of transition metal ions in nanoporous iron-substituted nickel phosphates, VSB-1 and VSB-5	J. Nanosci. Nanotech.
	Mesoporous assembly of 2D manganate nanosheets intercalated with cobalt ions	Mater. Lett.
	Improvement of electrochemical performance of tin dioxide negative electrode materials upon cobalt substitution	Electrochim. Acta
	Pre-swelled nanostructured electrode for lithium ion battery: TiO_2 -pillared layered MnO_2	J. Mater. Chem.
	Unique phase transformation behavior and visible light photocatalytic activity of titanium oxide hybridized with copper oxide	J. Mater. Chem.
	Effects of synthesis temperature and precursor composition on the crystal structure, morphology, and electrode activity of 1D nanostructured manganese oxides	J. Power Sources
	Unilamellar nanosheet of layered manganese cobalt nickel oxide and its heterolayered film with polycations	ACS Nano
2011	Porously assembled 2D nanosheets of alkali metal manganese oxides with highly reversible pseudocapacitance behaviors	J. Phys. Chem. C
	UV screening of ferulic acid-zinc basic salt nanohybrid with controlled release rate	J. Nanosci. Nanotech.
	Phosphate-intercalated Ca-Fe-layered double hydroxides: crystal structure, bonding character, and release kinetics of phosphate	J. Solid State Chem.
	Study on the structural and photocatalytic properties for pore size tailored SnO_2 -pillared layered titanate nanohybrids	J. Nanosci. Nanotech.
	Porous zirconium complex-layered titanate nanohybrids with gas adsorption and photocatalytic activity	Mater. Lett.
	Synthesis and lithium electrode application of $\text{ZnO-ZnFe}_2\text{O}_4$ nanocomposites and porously assembled ZnFe_2O_4 nanoparticles	Solid State Ionics
	Mixed valence Zn-Co-layered double hydroxides and their exfoliated nanosheets with electrode functionality	J. Mater. Chem.
	Effects of polyelectrolyte hybridization on the crystal structure, physicochemical properties, and electrochemical activity of layered manganese oxide	Mater. Chem. Phys.
	One-pot synthesis of platinum nanoparticles embedded on reduced graphene oxide for oxygen reduction in methanol fuel cells	Electrochem. Solid State Lett.
	Synthesis of large ring 3,4-alkylenedioxythiophenes (ADOT) derivatives via Mitsunobu reaction	Tetrahedron Lett.
	Synthesis and electrochemical characterization of reduced graphene oxide-manganese oxide nanocomposites	J. Electrochem. Sci. Tech.
	A composite formation route to well-crystalline manganese oxide nanocrystals: high catalytic activity of manganate-alumina nanocomposites	Adv. Funct. Mater.
	Amorphous tungstate precursor route to nanostructured tungsten oxide film with electrochromic property	J. Nanosci. Nanotech.
	Room temperature synthesis routes to the 2D nanoplates and 1D nanowires/nanorods of manganese oxides with highly stable pseudocapacitance behaviors	J. Phys. Chem. C
	A dual-polymer electrochromic device with high coloration efficiency and fast response time: poly(3,4-(1,4-butylene -(2-ene)dioxy)thiophene)-polyaniline ECD	Chem. Asian J.
	Self-assembly of nanosized 0D clusters: CdS quantum dot-polyoxotungstate nanohybrids with strongly coupled electronic structures and visible-light-active photofunctions	Chem. Eur. J.
	Cocatalyst-free photocatalysts for efficient visible-light -induced H_2 production: porous assemblies of CdS quantum dots and layered titanate nanosheets	Adv. Funct. Mater.
	Mesoporous layer-by-layer ordered nanohybrids of layered double hydroxide and layered metal oxide: highly active visible light photocatalysts with improved chemical stability	J. Am. Chem. Soc.
	One-pot synthesis of core-shell-like Pt_3Co nanoparticle electrocatalyst with Pt-enriched surface for oxygen reduction reaction in fuel cells	Energy Environ. Sci.

2012	Heterolayered $\text{Li}-\text{MnO}_2-[\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}]\text{O}_2$ nanocomposites with improved electrode functionality: effects of heat treatment and layer doping on the electrode performance of reassembled lithium manganese	J. Phys. Chem. C
	Mixed colloidal suspensions of reduced graphene oxide and layered metal oxide nanosheets: useful precursors for the porous nanocomposites and hybrid films of graphene/metal oxide	Chem.-Eur.J.
	Solvothermal-assisted hybridization between reduced graphene oxide and lithium metal oxides: a facile route to graphene-based composite materials	J. Phys. Chem. C
	A strong electronic coupling between graphene nanosheets and layered titanate nanoplates: a soft-chemical route to highly porous nanocomposites with improved photocatalytic activity	Small
	Effect of Bi_2O_3 doping on the sintering temperature and microwave dielectric properties of LiAlSiO_4 ceramics	J. Am. Ceram. Soc.
	Improved electrochromic performances of NiO based thin films by lithium addition: From single layers to devices	Electrochim. Acta
	Electrochemically active nanocomposites of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 2D nanosheets and SnO_2 0D nanocrystals with improved electrode performance	Electrochim. Acta
	A layer-by-layer assembly route to $[\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}]\text{O}_2$ hollow spheres with electrochemical activity	J. Phys. Chem. Solids
	Synthesis and electrochemical characterization of 2D nanostructured $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ with lithium electrode functionality	J. Phys. Chem. Solids
	Graphene nanosheets as a platform for the 2D ordering of metal oxide nanoparticles: mesoporous 2D aggregate of anatase TiO_2 nanoparticles with improved electrode performance	Chem. Eur. J.
2013	Microstructure and microwave dielectric properties of $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ceramics	Mater. Res. Bull.
	Biological synthesis of free-standing uniform go ethite nanowires by Shewanella sp. HN-41	J. Mater. Chem. A
	Sintering behavior and dielectric properties of $\text{KCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ ceramics	J. Eur. Cer. Soc.
	A beneficial role of exfoliated layered metal oxide nanosheet in optimizing the electrocatalytic activity and pore structure of Pt-reduced graphene oxide nanocomposite	Energy Environ. Sci.

보유 장비

장비명	용도	보유대수
분말 X-선 회절기	시료결정구조 분석	1
전기로	시료 열처리용	6
전기오븐	수열조건하 시료 합성	2
Hydrothermal bomb	수열조건하 시료 합성	15
Spin coater	박막 시료 제조	1
Doctor blade coater	박막 시료 제조	1
High speed centrifuger	콜로이드 분리	3
UV-vis spectrometer	시료의 전자구조 분석	1
HR-TEM/SAED/EDS	시료 형태 및 결정구조 분석	1
Solar simulator	시료 광활성 분석	1
UV-vis Lamp	광촉매활성 분석	1
기체 크로마토 그래피 (GC)	촉매활성 분석	1
기체 등온 흡탈착 분석기(BET)	비표면적 분석	1
Battery tester	시료 전극 특성 분석	1
Potentiostat	시료 전기화학적 활성 연구	1
코인셀 조립기	시료 전극 특성 분석	1
Glove box	공기 민감성 물질 준비용	2
Vacuum oven	진공 조건하 시료 건조 및 보관	2
pH meter	시료의 pH 측정	2
Evaporator	용액상 시료의 용매 제거	1
Voltex	용액상 시료의 교반	1
Magnetic stirrer	용액상 시료의 교반	10
Sonicator	초음파를 이용한 분쇄 및 시료 교반	1
HPLC	촉매활성 분석	1
UV-Xenon Lamp	광촉매활성 분석	2
Langmuir-Blodgett film coater	박막 제조	1

광안정성이 높고 활성도가 높은 나노하이브리드 광촉매 기술

개요

- 금속 2D 나노시트와 금속 나노클러스터 사이의 정전기적 인력에 의한 자기조립을 통하여 재적층되어 형성된 메조포러스(mesoporous) 층상 나노하이브리드를 제조하는 기술이다.

기술의 우수성(종래기술과의 차별성)

- 기존의 무기 광촉매의 대부분은 큰 밴드갭 에너지, 낮은 광안정성 및 양성자의 환원과 옥사이드 이온의 산화에 대한 부적합한 대역위치 때문에, 가시광-유도 물분해에 적합하지 않다. 본 기술은 기존의 기술의 단점을 극복하기 위하여 두 종류의 광촉매를 하이브리드 시키고, 광촉매 활성을 향상하기 위한 층상 이중 수산화물 나노구조(LDH)를 제공한다.
- 기존에 알려지지 않은 층상 이중 수산화물 나노구조(LDH)를 광촉매로 이용하여 화학적 안정성이 높고 가시광에 반응하여 O₂ 생성에 대한 높은 광촉매 활성을 가지는 나노하이브리드를 제조할 수 있다.

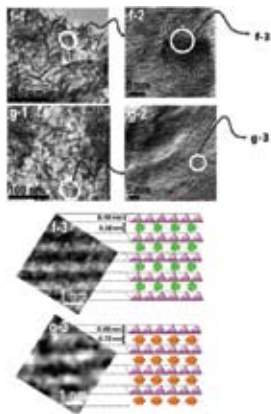
시장

- 국내 광촉매 원료 시장은 수십톤 정도로 아직까지 일본에 비해 미미하나 최근 국내에서의 광촉매 원료 및 응용 제품 개발이 기업체, 연구소, 대학에서 활발하게 진행되고 있고 또한 제품 출시가 이루어지고 있는바, 수년내에 상당규모의 시장이 형성될 것으로 예상된다.
- 일본에서는 환경 산업의 10% 이상을 광촉매가 점유하고 있으며 2015년에는 1조엔(약 9조원) 이상의 시장을 형성할 것으로 예측하고 있다. 현재 일본에서 연간 약 200~250톤 정도의 수요가 추정되고 있으며, 이는 이산화티타늄 전체 생산량과 비교해보면 극히 일부에 지나지 않는다.

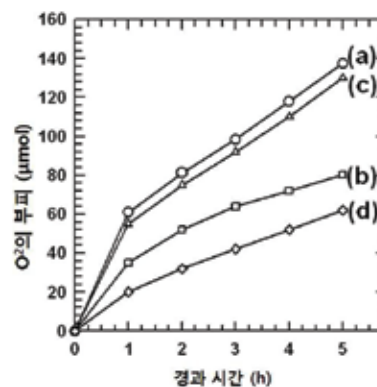
지식재산권

- 10-2012-0063800 (출원) / 메조포러스 나노하이브리드, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 광촉매

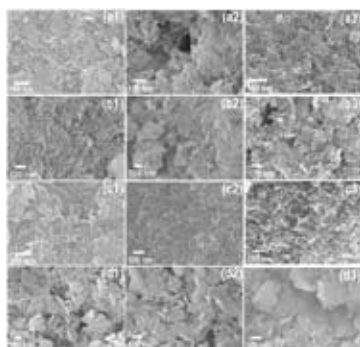
관련사진



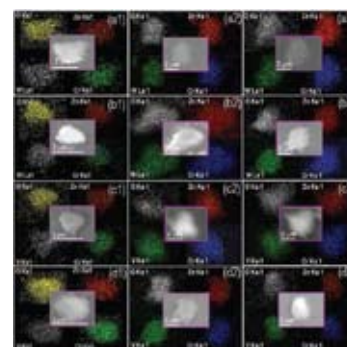
나노하이브리드의 고분해능 투과전자현미경 분석 결과



나노하이브리드의 광촉매 활성에 의한 시간 의존적 산소 생성을 그래프



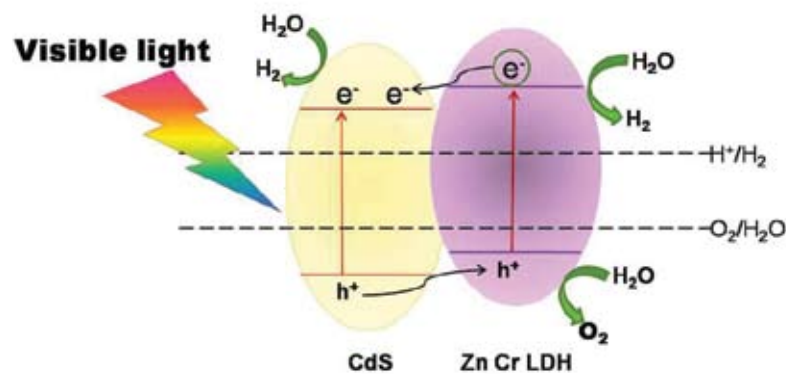
나노하이브리드의 표면 형태를 FE-SEM으로 분석한 결과



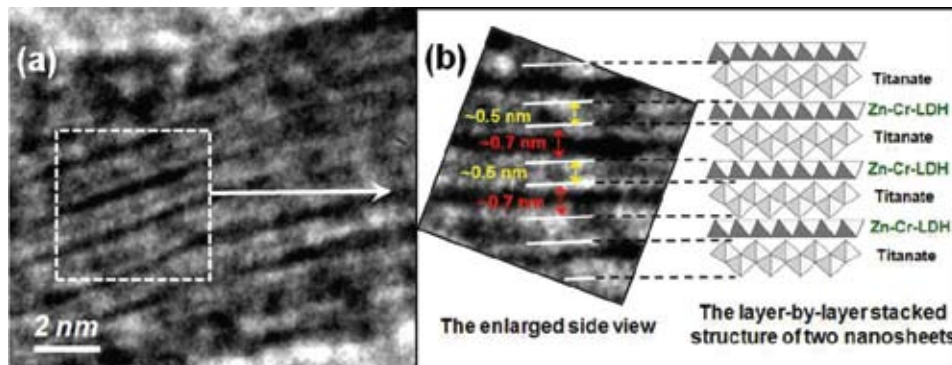
나노하이브리드를 EDS 원소 맵핑 연구를 통하여 분석한 결과

VA 관련기술

- ◎ 두 종류 이상의 나노하이브리드의 제조를 통하여 화학적으로 안정하고, 비표면적이 크며, 광 활성이 뛰어난 다양한 광촉매 기술을 보유 중, 그래핀, 티탄산화물, 황화카드뮴 및 LDH 나노시트를 이용한 다양한 나노하이브리드 제조기술을 보유하고 있다.
- ◎ 10-2009-0088682 (등록) / 나노혼성체 및 그 제조방법
- ◎ 10-2010-0048918 (등록) / 황화카드뮴 양자점-산화티스텐 나노혼성체 광촉매 및 그 제조방법
- ◎ 10-2011-0000662 (출원) / 다공성 그래핀-층상 티타늄산화물 나노혼성체 및 그 제조방법
- ◎ 10-2011-0040504 (출원) / 메조포러스 층상 정렬된 나노하이브리드, 상기의 제조방법, 및 상기를 포함하는 광촉매
- ◎ 10-2011-0045326 (출원) / 메조포러스 층상 나노하이브리드, 상기의 제조방법, 및 상기를 포함하는 광촉매
- ◎ 10-2011-0094883 (등록) / 가시광 응답성 나노하이브리드 광촉매 물질 및 이의 제조방법
- ◎ 10-2012-0137112 (출원) / 나노하이브리드, 이를 포함하는 광촉매, 및 상기 나노하이브리드의 제조방법
- ◎ 10-2013-0004103 (출원) / 그래핀을 포함하는 다공성 나노하이브리드, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 가시광 광촉매



CdS-ZnCr/LDH 나노하이브리드의 밴드 구조



ZCT-1 나노하이브리드의 HR-TEM 단면 이미지 및 구조적 모델

VA 기술개발단계

- ◎ 기술개발 완료

VA 활용분야

- ◎ 물분해, 산소 및 수소생산

안정적이고 높은 전도도를 가지는 하이브리드 나노복합체를 이용한 이차전지 기술

개요

- ◎ 층상 금속 산화물 나노시트와 그래핀 나노시트를 포함하는 적층 구조체 및 상기 적층 구조체 내에 분산된 금속을 포함하는 금속-그래핀-층상 금속산화물 다공성 나노복합체를 제조하는 기술로 고가의 Pt를 대체할 수 있는 전극촉매를 제공한다.

기술의 우수성(종래기술과의 차별성)

- ◎ 그래핀과 층상 금속 산화물을 이용한 전극촉매로서 적층 구조체 내에 백금 나노결정을 포함하는 연구는 아직 이루어지지 않고 있다.
- ◎ 본 기술을 이용하면 그래핀의 박리된 나노시트를 전도성 매트릭스로 이용하여, Pt와 같은 금속 나노결정을 지지체상에 분산시킨 후 고정하여 화학적으로 안정되고 높은 전도도를 가진 우수한 전극촉매를 제조할 수 있다.
- ◎ 본 기술을 응용하여 하이브리드 종이를 제조하는 경우 기존에 비해 얇은 두께를 가지면서 유연하고 단단한 필름형태로 간단히 제조할 수 있고, 높은 항균성을 가지고 있어 각종 환경관련 제품에 적용할 수 있다.

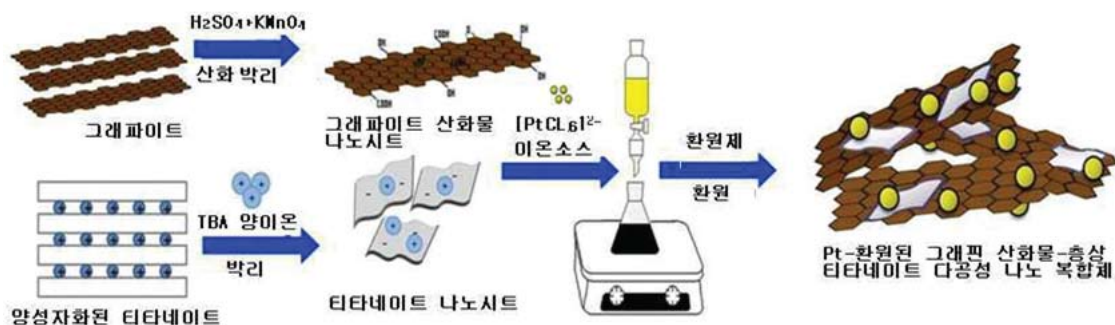
시장

- ◎ 최근 전 세계적으로, 전자기기에 다방면으로 사용가능한 그래핀의 사용화를 위해 많은 자본과 연구인력이 투입되고 있어, 이에 따라 관련 시장 규모 또한 급증하였다. 그래핀 시장 규모는 2015년 43조원을 거쳐 2030년 332조원 규모로 성장할 것으로 예상된다. 또한, 2차전지 등 에너지용 전극재료로서 그래핀 시장이 2030년 전체 시장에서 가장 큰 규모인 87조원 시장으로 성장할 것으로 전망된다.

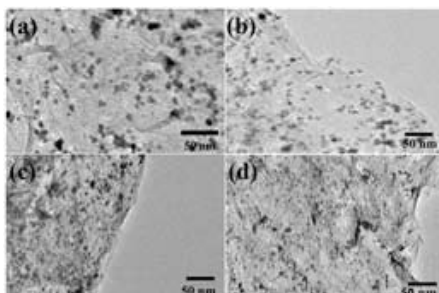
지식재산권

- ◎ 10-2012-0071840 (출원) / 금속-그래핀-층상 금속 산화물 다공성 나노복합체, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 전극촉매
- ◎ 10-2012-0116420 (출원) / 하이브리드 종이 및 이의 제조방법

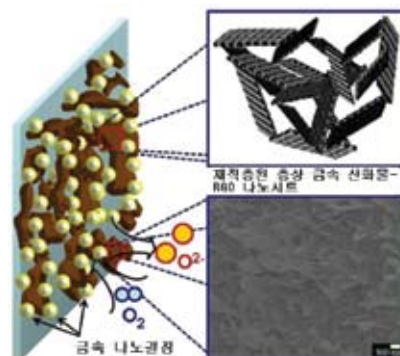
관련사진



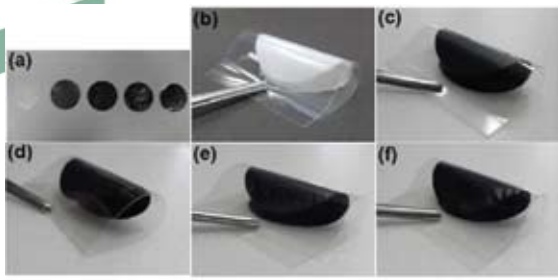
두 종류의 나노시트의 혼합 콜로이드 분산액을 이용하여 상기 환원-결정 성장 메커니즘을 통한 Pt-RGO-층상 티타네이트 나노복합체의 합성



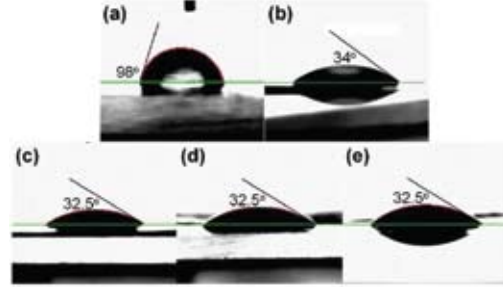
(a) PGT1, (b) PGT2, (c) PGT3, 및 (d) PGT4의 상기 Pt-RGO-층상 티타네이트 나노복합체를 HR-TEM으로 분석한 결과



금속-RGO-층상 금속 산화물 다공성 나노복합체의 개략도



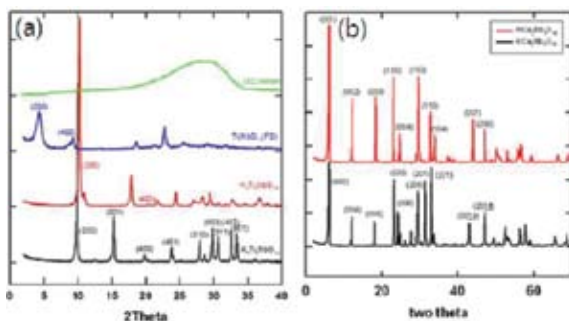
층상 티탄 산화물, 그래핀, 층상 티탄 산화물-그래핀 혼합 종이의 사진



(a) 그래핀 종이, (b) 층상 티탄산화물 종이, (c) 하이브리드 종이 0.4, (d) 하이브리드 종이 1, 및 (e) 하이브리드 종이2의 접촉각

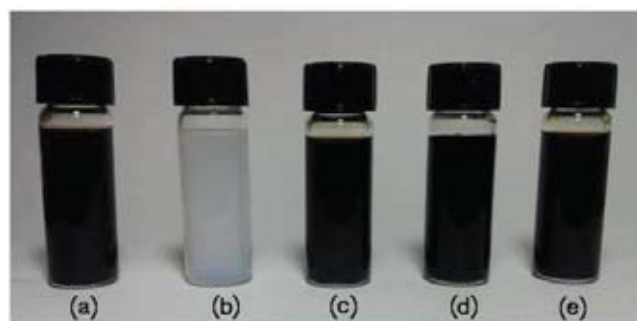
관련기술

- ◎ 이차전지의 전극재료를 제조하는 기술을 보유하고 있으며, 다양한 산화물 나노구조체, 그래핀과 산화물의 하이브리드 나노구조체를 제조하는 다수의 기술을 보유하고 있다.
- ◎ 신규한 재료를 이용하여 안정적이고 고효율의 나노구조체의 전극을 제조하는 기술과 나노구조체의 형태를 조절하거나, 제조과정을 용이하게 하는 기술을 다수 보유하고 있다.
- ◎ 10-2006-0089217 (등록) / 이온쌍 전구체를 이용한 양이온 치환 망간 산화물나노구조체의 제조방법
- ◎ 10-2006-0090635 (등록) / 층상 코발트 니켈 망간 산화물 나노콜로이드, 이와전기금속 산화물과의 나노혼성체, 및 이들의 제조방법
- ◎ 10-2006-0102243 (등록) / 망간 산화물 나노구조체의 장단축비를 조절하는 방법 및이를 이용한 망간 산화물 나노구조체의 제조방법
- ◎ 10-2008-0096906 (등록) / 이산화망간 나노구조체 제조방법
- ◎ 10-2009-0006009 (출원) / 3차원 나노구조를 갖는 층상 리튬망간산화물 및 그 제조방법
- ◎ 10-2009-0016691 (등록) / 3차원 구조의 층상 금속 이중수산화염, 그 제조방법 및 상기 3차원 구조의 층상 금속 이중수산화염을 포함한 완효성 비료
- ◎ 10-2010-0045400 (등록) / 금속산화물을 적용한 전극물질
- ◎ 10-2011-0000659 (출원) / 망간산화물 나노구조체 제조방법
- ◎ 10-2011-0014014 (출원) / 2차원 나노구조 리튬 티타늄 산화물, 그 제조방법 및 상기 2차원 나노구조 리튬 티타늄 산화물을 포함한 전극 물질
- ◎ 10-2011-0039624 (출원) / 다공성 2차원 나노복합체 및 이의 제조 방법
- ◎ 10-2011-0078174 (출원) / 리튬 티타늄 산화물-그래핀 복합체 및 이의 제조 방법
- ◎ 10-2011-0112051 (출원) / 리튬 티타늄 옥사이드-그래핀 복합체 및 이의 제조 방법
- ◎ 10-2011-0140298 (출원), US13/630,656 (출원) / 망간 산화물/그래핀 나노복합체 및 이의 제조 방법
- ◎ 10-2012-0068551 (출원) / 금속-그래핀-이중수산화물 다공성 나노복합체, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 전극촉매
- ◎ 10-2012-0114963 (출원) / 층상 니오븀-함유 금속 산화물 나노콜로이드의 제조방법, 상기 방법에 의해 제조된 층상 니오븀 산화물 나노콜로이드 및 상기 니오븀 산화물 나노콜로이드를 이용한 고유전체 박막의 제조방법
- ◎ 10-2012-0152344 (출원) / 실리콘 나노시트 및 이의 제조 방법



좌: [니오븀-함유 금속 산화물 콜로이드의 X-선 회절 그래프]

우: [(a) GO 나노시트, (b) 층상 티타네이트 나노시트 각각의 순수 콜로이드 분산액, (c) 0.5%, (d) 1%, (e) 2%의 티타네이트/GO 물비율을 가지는 GO 및 층상 티타네이트의 혼합 콜로이드 분산액]



기술개발단계

- ◎ 기술개발 완료

활용분야

- ◎ 고성능 이차전지, 전극재료 및 그 응용