



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년01월07일
(11) 등록번호 10-2199699
(24) 등록일자 2020년12월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22F 1/00 (2006.01) B22F 9/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B22F 1/0007 (2013.01)
B22F 9/24 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0055919
(22) 출원일자 2018년05월16일
심사청구일자 2018년05월16일
(65) 공개번호 10-2019-0131266
(43) 공개일자 2019년11월26일
(56) 선행기술조사문헌
JP2010082776 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
명지대학교 산학협력단
경기도 용인시 처인구 명지로 116 (남동, 명지대학교)
(72) 발명자
이동기
경기도 성남시 수정구 위례광장로 82, 103동 202호(창곡동, 위례 보미리준빌)
수브라마니안 셀반
서울특별시 서대문구 거북골로 34(남가좌동)
시탄수 난다
서울특별시 성북구 화랑로17길 8-3(상월곡동)
(74) 대리인
특허법인다나

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 강민석

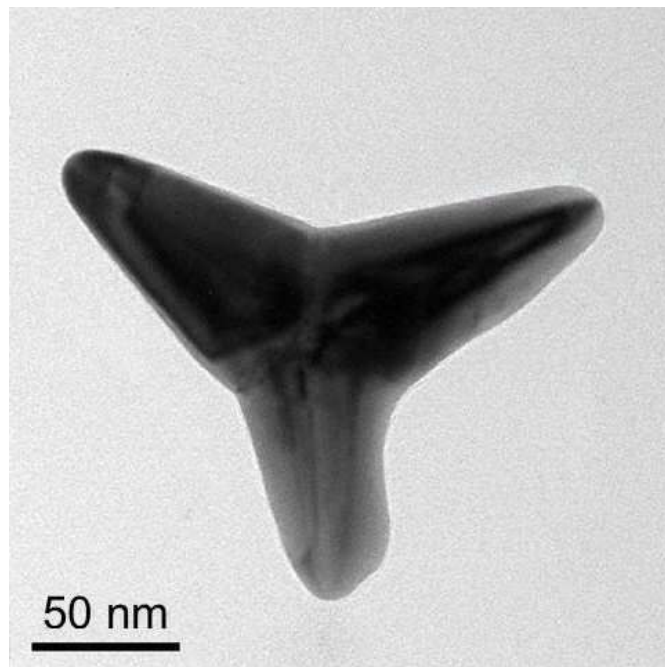
(54) 발명의 명칭 Au-Cu 나노결정 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명에 따른 나노결정은 금(Au) 및 구리(Cu)를 포함하는 트리포드(tripod) 형상의 신규한 나노결정을 제공할 수 있다.

종래 나노결정을 정제하기 위한 방법으로 원심분리법을 사용하는 경우, 안정화제로 덮인 나노결정으로 구성된 큰 (뒷면에 계속)

대표도 - 도2



크기의 나노결정(예를 들어, 400 nm 이상)을 제조하였으나, 본 발명에 따른 나노결정은 물에 합성된 나노결정과 유기용매를 혼합함으로써 안정화제를 용해하여 제거할 수 있어, 200 nm 이하의 평균 크기를 가지는 나노결정을 제조할 수 있다.

본 발명에 따른 나노결정의 제조방법은 별도의 씨드(seed)가 필요없으며, 간단한 정제 방법을 통해 고품질의 이방성 Au-Cu 나노결정을 제조할 수 있다.

또한, 상기 나노결정은 플라즈몬 측정, 표면 증강 라만 분광학(SERS) 검출, 생체 의학, 에너지 및 촉매 관련 응용 분야에서 적용가능하다.

(52) CPC특허분류

- B22F 2301/10 (2013.01)
- B22F 2301/255 (2013.01)
- B22F 2304/056 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

- KR1020120094872 A*
- KR1020180007015 A
- KR1020090019781 A
- KR1020080093539 A
- KR1020080035685 A
- KR1020180036959 A

Bo Pang 외 11명, 64Cu-Doped PdCu@Au Tripods: A Multifunctional Nanomaterial for Positron Emission Tomography and Image-Guided Photothermal Cancer Treatment. ACS Nano, 10 (2016), pp. 3121-3131*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	NRF-2015R1D1A1A01058263
부처명	연구재단
과제관리(전문)기관명	교육부
연구사업명	해외고급과학자 초빙사업, 이공학 개인기초연구지원사업
연구과제명	광응답성 나노구조체를 포함한 3차원 다공성 고분자 조성물 합성과 이를 이용한 세
포치료제 개발을 위한 세포	거동 연구
기여율	1/1
과제수행기관명	명지대학교 산학협력단
연구기간	2017.11.01 ~ 2018.10.31

명세서

청구범위

청구항 1

금(Au) 및 구리(Cu)를 포함하고, 중심부에서 말단부로 갈수록 두께가 얇아지는 트리포드(tripod) 형상이며, 국부 표면 플라즈몬 공명(LSPR)을 나타내는 것인 나노결정.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
나노결정의 평균 크기는 200 nm 이하인 나노결정.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
나노결정의 전체 직경은 100 내지 200 nm이고, 트리포드의 분지의 길이는 50 내지 120 nm인 나노결정.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
나노결정에 대한 XRD 측정시,
Au에 대한 피크의 강도(peak Au)와 Cu에 대한 피크의 강도(peak Cu)의 비율(peak Au/peak Cu)은 2 내지 3.3인 나노결정.

청구항 5

삭제

청구항 6

구리전구체, 금전구체 및 안정화제를 포함하는 용액을 가열하는 단계; 및
상기 가열된 용액과 유기용매를 혼합하여 상분리를 통해 상기 안정화제를 제거하는 단계를 포함하는 나노결정의 제조방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,
안정화제는 헥사데실아민, 옥타데실아민, 올레일아민 및 올레산으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 나노결정의 제조방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

구리전구체는 CuCl, CuCl₂, CuBr, CuBr₂, CuI, 또는 CuSO₄인 것을 포함하는 나노결정의 제조방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

금전구체는 AuCl₃, 또는 HAuCl₄인 것을 포함하는 나노결정의 제조방법.

청구항 10

제 6 항에 있어서,

유기용매는 클로로포름, 헥산, 사이클로헥산 및 벤젠으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 나노결정의 제조방법.

청구항 11

제 6 항에 있어서,

상기 가열은 80 내지 120℃ 범위에서 수행하는 것인 나노결정의 제조방법.

청구항 12

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 따른 나노결정을 포함하는 광열 소재.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 Au-Cu 나노결정 및 상기 Au-Cu 나노결정의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 나노기술은 물질을 원자 또는 분자 수준에서 조절 및 제어하는 기술로서 이 기술을 사용하여 만들어진 입자의 크기는 1 μm 이하이다. 1 μm 이하로 떨어지게 되면 표면에 존재하는 원자 개수의 비율이 높아지게 되고, 이는 새로운 성질을 야기시킨다. 이런 특징을 이용하여 나노기술은 신물질이나 신소재의 창출에 적합하고, 그 응용분야가 전자, 재료, 통신, 기계, 의약, 농업, 에너지 및 환경 분야 등 매우 다양하다. 이와 같은 나노기술은 현재 다양하게 발전하고 있으며, 크게 세 가지 분야로 분류되어 있다. 첫째, 나노소재로 극미세한 크기의 새로운 물질과 재료를 합성하는 기술에 관한 것이다. 둘째, 나노소재인데 나노크기의 재료들을 조합하거나 배열하여 일정한 기능을 발휘하는 장치를 제조하는 기술에 관한 것이다. 셋째, 나노기술을 생명공학 분야에 응용하는 나노-바이오 기술에 관한 것이다.

[0004] 나노-바이오 기술에서 나노입자는, 나노스케일에서 도출되는 독특한 특성 및 각종 유기/무기 화합물을 사용하여 기능화가 용이하다는 특색으로 인해, 각종 질병과 관련된 바이오분자의 검출, 정량 및 분리 등에 다양하게 적용되고 있다.

[0005] 금나노입자는 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance) 현상에 의해 전자기파를 흡수할 수 있고, 흡수된 전자기파는 금속막에 존재하는 전도성 전자들을 집단적으로 진동시켜 발생시킨다. 특히, 금나노입자는 크기와 모양에 따라서 흡수할 수 있는 빛의 영역이 다른데, 금나노막대(gold nano rod)의 경우, 근적외선영역의 빛을 높게 흡수하는 특성을 가지고 있으며, 이러한 특성은 광열효과 같은 질병을 치료하기 위한 도구로 응용되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국공개특허 제2013-0087121호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 Au-Cu 나노결정 및 상기 Au-Cu 나노결정의 제조방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 과제를 해결하기 위하여,

[0011] 본 발명은 일실시예에서,

[0012] 금(Au) 및 구리(Cu)를 포함하고, 트리포드(tripod) 형상인 나노결정을 제공한다.

[0014] 또한, 본 발명은 일실시예에서,

[0015] 구리전구체, 금전구체 및 안정화제를 포함하는 용액을 가열하는 단계; 및 상기 가열된 용액과 유기용매를 혼합하여 상분리를 통해 상기 안정화제를 제거하는 단계를 포함하는 나노결정의 제조방법을 제공한다.

[0017] 나아가, 본 발명은 일실시예에서,

[0018] 금(Au) 및 구리(Cu)를 포함하고, 트리포드(tripod) 형상인 나노결정을 포함하는 광열 소재를 제공한다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따른 나노결정은 금(Au) 및 구리(Cu)를 포함하는 트리포드(tripod) 형상의 신규한 나노결정을 제공할 수 있다.

[0021] 종래 나노결정을 정제하기 위한 방법으로 원심분리법을 사용하는 경우, 안정화제로 덮인 나노결정으로 구성된 큰 크기의 나노결정(예를 들어, 400 nm 이상)을 제조하였으나, 본 발명에 따른 나노결정은 물에 합성된 나노결정과 유기용매를 혼합함으로써 안정화제를 용해하여 제거할 수 있어, 200 nm 이하의 평균 크기를 가지는 나노결정을 제조할 수 있다.

[0022] 본 발명에 따른 나노결정의 제조방법은 별도의 씨드(seed)가 필요없으며, 간단한 정제 방법을 통해 고품질의 이방성 Au-Cu 나노결정을 제조할 수 있다.

[0023] 또한, 상기 나노결정은 플라즈몬 측정, 표면 증강 라만 분광학(SERS) 검출, 생체 의학, 에너지 및 촉매 관련 응용 분야에서 적용가능하다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 실시예에 따른 Au-Cu 트리포드(tripod) 나노결정의 조사 전후의 수성 분산물의 흡수 스펙트럼을 나타낸 도면이고, 근적외선 레이저의 여기 파장은 633 nm이다.

도 2는 실시예에 따른 Au-Cu 트리포드 나노결정의 TEM 이미지이다.

도 3a는 실시예에 따른 Au-Cu 트리포드 나노결정의 STEM-EDX 원소 맵핑 이미지이고, 도 3b는 도 3a에서 황색 선으로 표시된 수평 방향을 따라 나노결정을 스캐닝하면서 기록된 원소 선형 주사 프로파일(elemental line-scanning profile)이다.

도 4는 실시예에 따른 Au-Cu 트리포드 나노결정의 X-선 회절 패턴을 나타낸 그래프이다.

도 5는 실시예에 따른 Au-Cu 트리포드 나노결정의 광열(photothermal) 효과를 나타낸 그래프이고, 상이한 농도를 갖는 수성 분산액을 633 nm의 여기에서 레이저로 조사하였다(파워 밀도: 150 mW/cm²).

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 구체적으로 설명하고자 한다.
- [0027] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0028] 본 발명에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0030] 이하, 본 발명에 대하여 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0031] Au-Ag, Pd-Cu, Au-Cu 등과 같은 이방성 금속 나노구조는 수년 동안 엄청난 관심을 받아왔고, 종래에는 Au-Cu의 합성에서 Au 씨드(seed)를 사용하여 Cu 나노 막대를 성장시켜 높은 이방성을 형성하거나, CuCl₂를 전구체로 사용하여 안정화제로 사용하고 포도당을 환원제로 사용하면서 물에서 Cu 나노와이어를 합성하였다. 또한, 나노결정의 제조 시 일반적으로 정제에 원심분리법을 사용하여 정제하였으나, 상기 방법은 나노결정의 합성 시 사용되는 안정화제가 나노결정의 표면에 남아있어 나노결정의 크기가 크다는 단점이 있었다.
- [0033] 이에, 본 발명은 상기 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명에 따른 나노결정은 물에 합성된 나노결정과 유기용매를 혼합함으로써 안정화제를 용해하여 제거할 수 있어, 200 nm 이하의 평균 크기를 가지는 나노결정을 제조할 수 있다.
- [0034] 구체적으로, 본 발명은 금(Au) 및 구리(Cu)를 포함하고, 트리포드(tripod) 형상인 나노결정을 제공한다.
- [0035] 상기 나노결정의 평균 크기는 200 nm 이하일 수 있고, 예를 들어, 상기 나노결정의 평균 크기는 200 nm 이하, 180 nm 이하, 160 nm 이하, 140 nm 이하, 120 nm 이하, 또는 100 nm 내지 110 nm일 수 있다.
- [0036] 상기 나노결정은 나노결정의 제조 시 표면에 남을 수 있는 안정화제를 제거함으로써 더 작은 크기의 나노결정을 수득할 수 있다.
- [0037] 상기 나노결정의 전체 직경은 100 내지 200 nm이고, 트리포드의 분지의 길이는 50 내지 120 nm일 수 있다. 예를 들어, 상기 나노결정의 전체 직경은 100 내지 180 nm, 100 내지 140 nm, 100 내지 120 nm, 120 내지 200 nm, 또는 140 내지 200 nm일 수 있고, 트리포드의 각각의 분지의 길이는 50 내지 120 nm, 50 내지 100 nm, 50 내지 90 nm, 또는 90 내지 120 nm일 수 있다.
- [0038] 상기 나노결정의 트리포드의 3 개 분지의 길이는 유사한 길이를 가지는 것일 수 있고, 예를 들어, 3 개 분지는 서로 ±10 nm 내의 길이의 차이를 가지는 것일 수 있다.
- [0039] 상기 나노결정에 대한 X-선 회절(X-ray diffracton, XRD) 측정시, Au에 대한 피크의 강도(peak Au)와 Cu에 대한 피크의 강도(peak Cu)의 비율(peak Au/peak Cu)은 2 내지 3.3일 수 있다. 예를 들어, 상기 peak Au/peak Cu는 2 내지 3, 2 내지 2.6, 2 내지 2.3, 2.3 내지 3.3, 2.6 내지 3.3, 또는 3.0 내지 3.3일 수 있다.
- [0040] 상기 나노결정은 국부 표면 플라즈몬 공명(LSPR)을 나타내는 것일 수 있고, 특히, 상기 나노결정에 근적외선 레이저를 조사할 경우 600 nm 부근의 피크와 800 내지 1,000 nm 범위의 피크에서 국부 표면 플라즈몬 공명을 나타내는 것일 수 있다.
- [0042] 또한, 본 발명은 구리(Cu)전구체, 금(Au)전구체 및 안정화제를 포함하는 용액을 가열하는 단계; 및 상기 가열된 용액과 유기용매를 혼합하여 상분리를 통해 상기 안정화제를 제거하는 단계를 포함하는 나노결정의 제조방법을 제공한다.
- [0043] 구체적으로, 상기 구리전구체는 및 안정화제를 포함하는 용액과 금전구체를 포함하는 용액을 혼합한 후 가열하고, 상기 가열된 용액과 유기용매를 혼합하여 상분리시키는 것일 수 있다. 상기 유기용매에 상기 안정화제가 용해되어 상기 용액 내의 안정화제를 제거할 수 있고, 안정화제가 용해된 유기용매와 나노결정이 형성된 용액으로 상분리되어 나노결정을 정제할 수 있다.
- [0044] 예를 들어, 상기 정제는 분액 깔때기를 이용하여 수행하는 것일 수 있다.

- [0045] 본 발명에 따른 나노결정의 제조방법은 별도의 씨드(seed)가 필요없으며, 간단한 정제 방법을 통해 고품질의 이방성 Au-Cu 나노결정을 제조할 수 있다.
- [0046] 상기 구리전구체 및 안정화제를 포함하는 용액에 환원제를 추가 포함할 수 있고, 예를 들어, 상기 환원제는 글루코오스(glucose)를 포함할 수 있다.
- [0047] 상기 안정화제는 헥사데실아민(hexadecylamine), 옥타데실아민(octadecylamine), 올레일아민(oleylamine) 및 올레산(oleic acid)으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함할 수 있다. 상기 안정화제를 통해서 전구체 물질이 나노결정의 형상으로 성장할 때 나노결정의 형상을 체계화해주며, 벌크 상태로 성장하는 것을 방지해 주는 역할을 하고, 또한, 입자간의 뭉침 또는 가라앉는 현상을 방지할 수 있다.
- [0048] 상기 구리전구체는 CuCl, CuCl₂, CuBr, CuBr₂, CuI, 또는 CuSO₄인 것을 포함할 수 있다.
- [0049] 상기 금전구체는 AuCl₃, 또는 HAuCl₄인 것을 포함할 수 있다.
- [0050] 상기 유기용매는 클로로포름, 헥산, 사이클로헥산 및 벤젠으로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함할 수 있다.
- [0051] 상기 가열은 80 내지 120℃ 범위에서 수행하는 것일 수 있다. 예를 들어, 상기 가열은 80 내지 110℃, 80 내지 100℃, 90 내지 100℃, 또는 100 내지 120℃ 범위에서 수행하는 것일 수 있다.
- [0053] 나아가, 본 발명은 금(Au) 및 구리(Cu)를 포함하고, 트리포드(tripod) 형상인 나노결정을 포함하는 광열 소재를 제공한다.
- [0054] 상기 나노결정은 근적외선을 조사하였을 경우, 최고 도달 온도가 45℃ 이상, 예를 들어, 48 내지 50℃까지 나타나 암세포를 효과적으로 사멸시킬 수 있어 광열 치료용 소재로 용이하게 사용할 수 있다.
- [0055] 또한, 상기 나노결정을 포함하는 광열 소재는 플라즈몬 측정, 표면 증강 라만 분광학(SERS) 검출, 생체 의학, 에너지 및 촉매 관련 응용 분야에서 적용 가능할 수 있다.
- [0057] 이하 본 발명에 따르는 실시예 등을 통해 본 발명을 보다 상세히 설명하나, 본 발명의 범위가 하기 제시된 실시예에 의해 제한되는 것은 아니다.
- [0059] **실시예: 트리포드 Au-Cu 나노결정의 합성**
- [0060] Au-Cu 나노결정의 전형적인 합성에서, 90 mg의 헥사데실아민(hexadecyl amine, HDA) 분말, 20 mg의 염화구리(CuCl₂ · 5H₂O) 및 50 mg의 글루코오스를 9 mL의 탈이온수에 용해시켰다. 상기 용액을 200 rpm/min으로 30 분 동안 자기 교반하에 혼합하였다(밝은 녹색 용액). 1 mL의 물에 용해된 14 mg의 금염화물(AuCl₃·xH₂O) 용액을 상기 용액에 적가하였다. 그 후, 용액은 서서히 황색으로 변하였다. 100℃의 수조에서 6 시간 동안 가열한 후, 용액의 색은 적갈색으로 변하여 Au-Cu 나노결정의 형성을 알 수 있었다. 상기 용액은 클로로포름을 용매로 사용하여 상분리법으로 수집하였다. 과량의 HDA는 클로로포름에 의해 제거되어 수상 상에 Au-Cu 나노결정을 남겼다. Au-Cu 나노결정 수용액을 에탄올 및 탈이온수로 2 회 세척하여 분액 깔때기를 이용하여 추가로 정제하였고, 마지막으로 탈이온수에 분산시켜 추가 특성을 분석하였다.
- [0062] 하기 특성 분석을 위하여, PBS에 상이한 희석 배수 0, 10, 30, 50 및 100을 갖는 트리포드 Au-Cu 나노결정 용액 1 mL를 각각 633 nm 레이저(MW-GX-980/3000Mw China)에 150 mW/cm²의 파워 밀도로 상이한 시간(1 내지 10 분) 동안 조사하였다. 온도계(Beckmann, China)를 용액에 삽입하여 온도 변화를 모니터링 하였다.
- [0064] **실험예 1: 트리포드 Au-Cu 나노결정에 근적외선 레이저를 조사하기 전과 후의 흡수 스펙트럼 측정**
- [0065] 도 1은 633 nm에서 근적외선 레이저를 조사하기 전과 후의 실시예에 따른 트리포드 Au-Cu 나노결정의 흡수 스펙트럼을 나타내었다. 약 475 nm의 피크는 다면체 나노결정의 공존을 나타내고, 600 nm 부근의 피크와 800 내지 1,000 nm 사이의 넓은 피크는 나노 결정의 국부 표면 플라즈몬 공명(localized surface plasmon resonance, LSPR) 효과를 나타낸다.
- [0067] **실험예 2: 투과전자현미경 관찰**
- [0068] 상기 실시예에 따른 트리포드 Au-Cu 나노결정의 투과전자현미경(TEM) 이미지를 도 2에 나타내었다.
- [0069] 도 2를 참조하면, 트리포드 Au-Cu 나노결정의 전체 너비와 높이는 각각 180 nm와 140 nm, 평균 약 160 nm로 모

든 치수에서 크기는 거의 동일하였다. 트리포드의 각각의 분지의 길이는 약 90 nm였다.

[0071] **실험예 3: STEM-EDX(scanning transmission electron microscope-energy dispersive X-ray spectroscopy) 분석**

[0072] 도 3a는 실시예에 따른 Au-Cu 트리포드 나노결정의 STEM-EDX 원소 맵핑 이미지이고, 도 3b는 도 3a에서 황색 선으로 표시된 수평 방향을 따라 나노결정을 스캐닝하면서 기록된 원소 선형 주사 프로파일(elemental line-scanning profile)을 나타낸 것이다.

[0073] STEM-에너지 분산 X-선(STEM-EDX) 분석은 Cu와 Au의 존재를 보여주며, 트리포드 Au-Cu 나노결정의 합금 구조를 확인할 수 있다. Cu와 비교하여, Au의 껍질 전자는 L 및 M (둘째 및 세 번째 에너지 수준) 껍질을 차지하는 것을 확인할 수 있었고, 이로 인해 트리포드 Au-Cu 나노결정에 Cu 와 Au가 모두 존재하는 것을 알 수 있었다.

[0075] **실험예 4: XRD 분석**

[0076] 도 4는 실시예에 따른 트리포드 Au-Cu 나노결정에 대한 X-선 회절(XRD) 패턴을 나타내었다. 38° 및 44.5° 의 2θ 값에서 관찰된 피크 (111) 및 (200)은 Au 및 Cu 원자의 존재를 확인할 수 있었고, 이는 면심입방구조(fcc)로 인덱싱(index)될 수 있다. 또한, Au에 대한 피크의 강도(peak Au)와 Cu에 대한 피크의 강도(peak Cu)의 비율(peak Au/peak Cu)이 2.6인 것을 확인할 수 있었다.

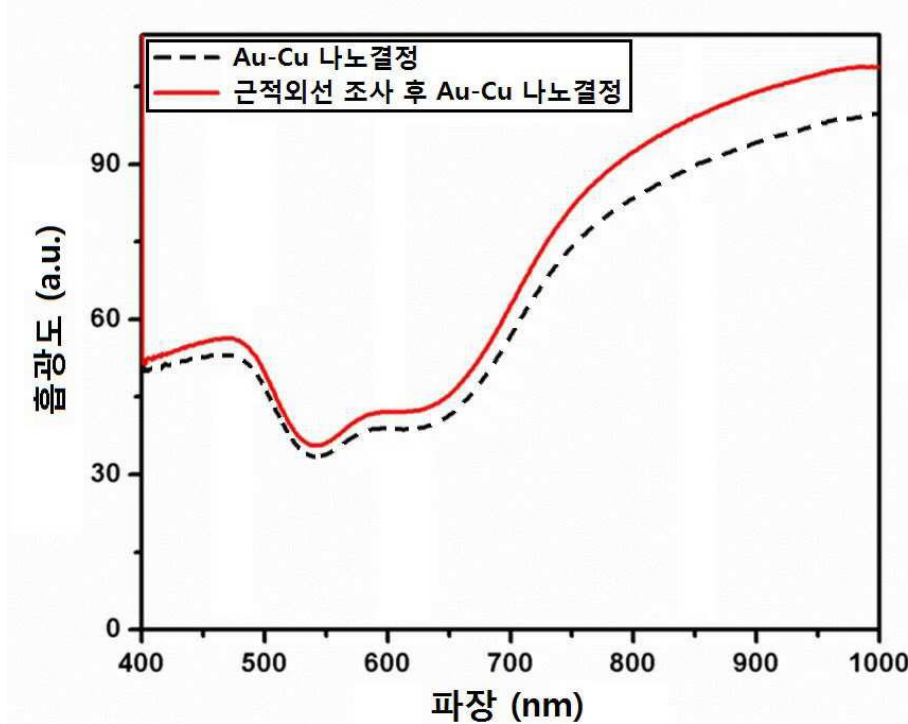
[0078] **실험예 5: 광열효과 측정**

[0079] 도 5는 실시예에 따른 트리포드 Au-Cu 나노결정의 광열 효과를 측정한 결과를 나타낸 것이다.

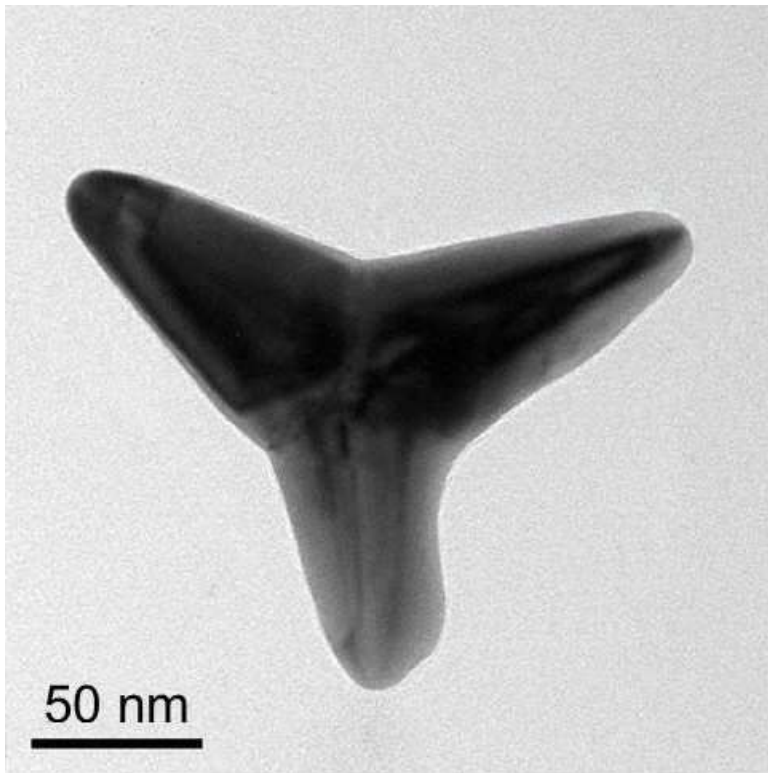
[0080] 도 5를 참조하면, 633 nm에서 레이저를 조사하면 트리포드 Au-Cu 나노결정 수용액의 온도는 100% 희석된 나노결정의 경우 5 분에 45℃로 증가하였고, 10 분에 48℃로 증가하였다. 온도 상승은 농도가 각각 50, 30 및 10%로 희석된 시료에 대해 10 분에 각각 43, 41, 32℃였다. 대조군(물)의 경우 온도 상승은 28℃였다. 이 실험을 통해 본 발명의 트리포드 Au-Cu 나노결정이 현저한 광열 효과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

도면

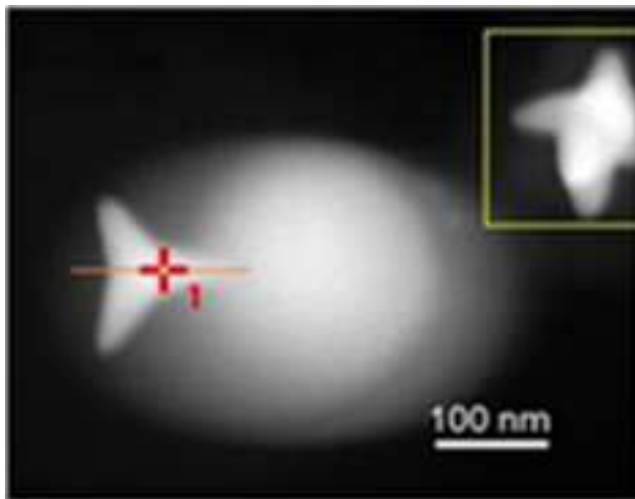
도면1



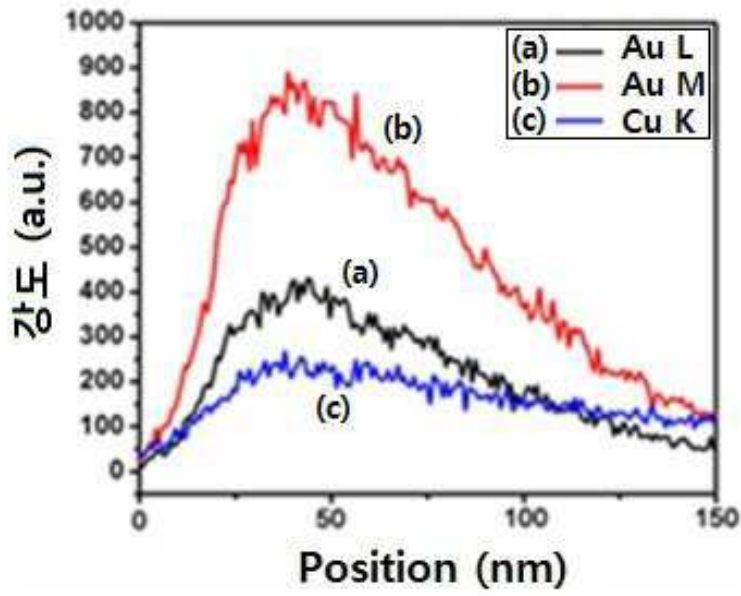
도면2



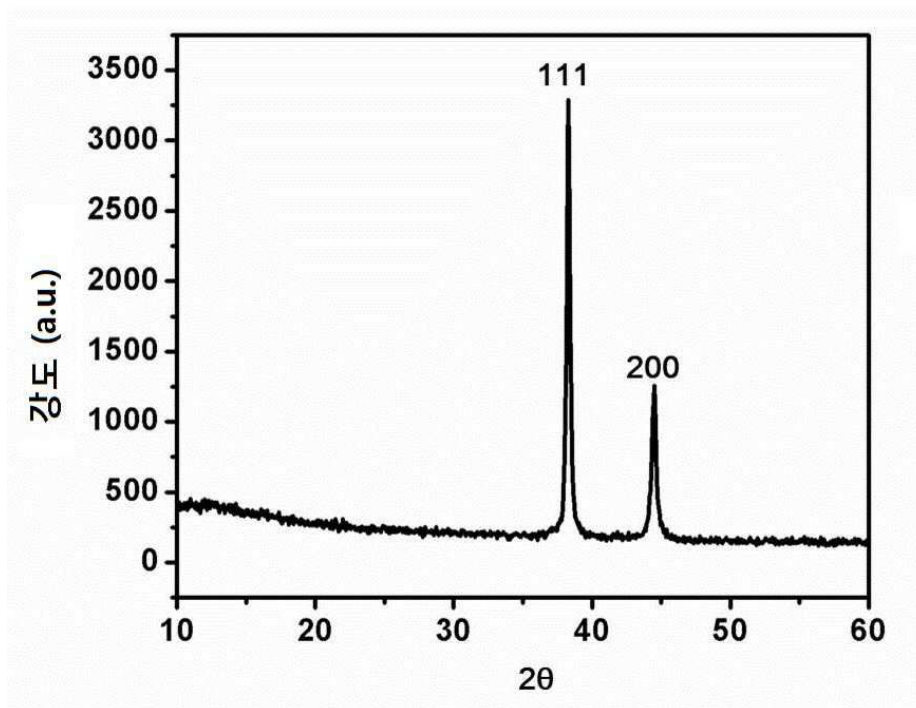
도면3a



도면3b



도면4



도면5

