



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0101439
(43) 공개일자 2023년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 31/22 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 31/225 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0191554

(22) 출원일자 2021년12월29일

심사청구일자 2021년12월29일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

김주훈

서울특별시 서초구 남부순환로 2183, 201동 1105호(방배동, 망배래미안타워)

이혜인

인천광역시 서구 봉오재3로 75, 107동 604호(가정동, 루원 호반베르디움 더센트럴)

(74) 대리인

특허법인 천지

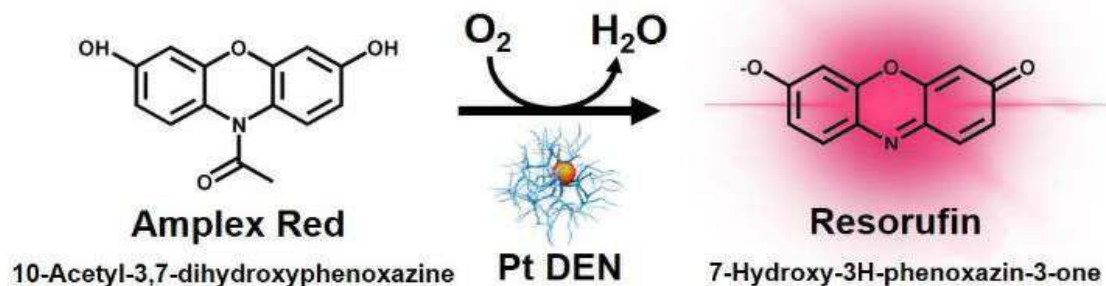
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 산소 검출 방법 및 산소 센서 장치

(57) 요약

본 발명은 산소 검출 방법 및 산소 센서 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 덴드리머 및 상기 덴드리머의 내부에 포획된 백금 나노입자를 포함하는 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자를 이용하여, 산소에 의해 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine)이 산화하며 레조루핀(Resorufin)으로 전환되는 것을 이용한 산소 검출 방법 및 산소 센서 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711141447
과제번호	2021R1A4A5032876
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공분야기초연구사업>기초연구실지원사업>기초연구실 융합형
연구과제명	전기화학발광 기반 탐침 활용 에너지 변환 기초연구실
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교
연구기간	2021.06.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711148903
과제번호	2020R1A2C2013790
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	사업구분이공분야기초연구사업>중견연구자지원사업>(유형1-2)중견연구
연구과제명	정밀 제어 나노물질 기반의 전기화학발광 분석 기술 및 시스템 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

덴드리머 및 상기 덴드리머의 내부에 포획된 백금 나노입자를 포함하는 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자를 이용하여,

산소에 의해 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine)이 산화하며 레조루핀(Resorufin)으로 전환되는 것을 이용한, 산소 검출 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자를 산화 효소 모방체로서 이용하여, 턴-온 타입(turn-on type)으로 산소를 검출하는, 산소 검출 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 덴드리머는 아미노기 말단 폴리아미도아민 덴드리머 및 하이드록시기 말단 폴리아미도아민 덴드리머 중 1 종 이상을 포함하는, 산소 검출 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 덴드리머는 6세대 폴리아미도아민 덴드리머인, 산소 검출 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 백금 나노입자는 상기 덴드리머당 200 ~ 1560 개의 영가 백금 원자로 이루어진, 산소 검출 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 백금 나노입자의 직경은 1.8 ~ 3.6 nm인, 산소 검출 방법.

청구항 7

덴드리머 및 상기 덴드리머의 내부에 포획된 백금 나노입자를 포함하는 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자; 및 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine);을 포함하는 산소 센서 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 텐드리머는 아미노기 말단 폴리아미도아민 텐드리머 및 하이드록시기 말단 폴리아미도아민 텐드리머 중 1종 이상을 포함하는, 산소 센서 장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 백금 나노입자는 상기 텐드리머당 200 ~ 1560 개의 영가 백금 원자로 이루어진, 산소 센서 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 용액 내 용해된 산소 검출 방법 및 산소 센서 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산소(O_2)의 검출 및 용액 내에서 산소 농도의 공간적 분포를 시각적으로 검출할 수 있는 방법 고안의 필요성은 높다. 이는 산소가 생물의 생존에 필수적인 물질로서, 산소는 생물의 생존, 대사 및 기능에 대한 가장 중요한 마커(marker) 중 하나일 뿐만 아니라, 수질 환경 모니터링 및 의료 진단의 영역에서도 그 필요성이 높기 때문이다. 생물의 각 기관 및 현재 건강 상태에 따라 각 부위에서의 산소 농도는 달라질 수 있으며, 산소 농도의 공간적 분포를 시각적으로 확인하는 방법은 생물의 각 부위의 건강 상태를 진단함에 있어 유용할 수 있다.

[0003] 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine)은 통상적으로 암플렉스 레드(Amplex Red)라 불리우는 화합물로 생물학적 효소인 페록시다아제(oxidase) 등의 촉매 존재 하에서 과산화수소에 의해 형광 물질인 레조루핀(Resorufin)으로 산화하여 전환되며, 이에 따라 생물학적 시스템에서 과산화수소 검출에 널리 사용되는 물질이다. 예를 들어, 과산화수소가 존재할 때 암플렉스 레드 화합물을 페록시다아제의 한 종류인 겨자무과산화효소(horseradish peroxidase)를 활용하여 형광 물질인 레조루핀으로 전환시켜 형광의 세기를 측정할 수 있다. 이 때 측정되는 형광의 세기는 전환된 레조루핀의 양에 비례하며, 이는 다시 존재하는 과산화수소의 양에 비례하기 때문에 과산화수소의 정량적 검출에 암플렉스 레드는 광범위하게 사용되고 있다.

[0004] 그러나, 산소 검출 및 산소 농도의 공간적 분포를 시각적으로 검출하는 데 암플렉스 레드의 활용은 미미한 실정이다. 일반적으로, 산소 검출은 화학적 방법 (예, Winkler 적정법), 전기화학적 방법 (예, Clark 전극법), 그리고 광학적 방법 (예, 인광 소광법(phosphorescence quenching))들로 나누어 볼 수 있다. 하지만 일반적인 산소 검출 방법은 수 마이크로리터(μL)의 아주 작은 부피의 미세 공간내에 적용하기 어렵고, 이를 위해 미세 유체 환경하에 적용할 수 있는 고체칩 형태의 산소 센서 장치들이 필요하다. 하지만, 미세 환경하에 존재하는 산소도 검출할 수 있고, 그 산소의 공간적 분포도 검출할 수 있는 간편하고 저비용의 산소 검출 방법과 산소 센서 장치의 개발은 여전히 필요한 실정이다. 특히, 간편하고 저비용으로 과산화수소의 정량적 검출에 활용되고 있는 암플렉스 레드를 활용하여 산소를 검출하고 산소 농도의 공간적 분포도 시각적으로 검출할 수 있는 방법과 센서 장치를 제공하는 것의 필요성은 높은 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 산소 농도의 공간적 분포를 실시간으로 검출할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은 산소의 공간적 분포를 실시간으로 검출할 수 있는 산소 센서 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 일 측면에 따른 산소 검출 방법은 텐드리머 및 상기 텐드리머의 내부에 포획된 백금 나노입자를 포함하는 텐드리머-캡슐화 백금 나노입자를 이용하여, 산소에 의해 10-아세틸-3,7-디히

트록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine)이 산화하며 레조루핀(Resorufin)으로 전환되는 것을 이용한 방법이다.

- [0008] 상기 방법은 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자를 산화 효소 모방체로서 이용하여, 턴-온 타입(turn-on type)으로 산소를 검출하는 방법일 수 있다.
- [0009] 상기 덴드리머는 아미노기 말단 폴리아미도아민 덴드리머 및 하이드록시기 말단 폴리아미도아민 덴드리머 중 1 종 이상을 포함할 수 있다.
- [0010] 상기 덴드리머는 6세대 폴리아미도아민 덴드리머일 수 있다.
- [0011] 상기 백금 나노입자는 상기 덴드리머당 200 ~ 1560 개의 영가 백금 원자로 이루어 질 수 있다.
- [0012] 상기 백금 나노입자의 직경은 1.8 ~ 3.6 nm일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 다른 일 측면에 따른 산소 센서 장치는 덴드리머 및 상기 덴드리머의 내부에 포획된 백금 나노입자를 포함하는 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자 및 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine)를 포함하는 것이다.

발명의 효과

- [0014] 본 발명의 산소 검출 방법은 미세 환경의 용액 안에서 공간적으로 다르게 분포된 O₂의 농도를 형광 기반 검출을 통하여 시각적으로 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진이 레조루핀(Resorufin)으로 전환되는 반응식을 간략히 나타낸 것이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예 (ii~vi) 및 비교예(i)의 산소 포화 용액에서의 시간에 따른 발광 정도를 비교한 그래프이다.
- 도 3은 산소가 포화된 용액에서 본 발명의 실시예 (ii) 및 비교예(i)의 색 변화를 비교한 것이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예의 산소 포화 정도를 달리하였을 때 시간에 따른 흡광세기를 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하, 도면을 참고하여 본 발명을 상세하게 설명한다.
- [0017] 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0018] 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들은 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0019] 본 발명은 산소 검출 방법 및 산소 검진 센서 장치에 관한 발명으로 본 발명의 일 실시예에 따른 산소 검출 방법은, 덴드리머 및 상기 덴드리머의 내부에 포획된 백금 나노입자를 포함하는 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자를 이용하여, 산소에 의해 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine)이 산화하며 레조루핀(Resorufin)으로 전환되는 것을 이용한 것을 특징으로 한다.
- [0020] 이때 레조루핀은 7-하이드록시-3H-페녹사진-3-온(7-Hydroxy-3H-phenoxazin-3-one)을 의미한다.
- [0021] 도 1은 상기 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자가 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine)의 산화 효소 모방체로서 이용되어, 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine, Amplex Red)이 산화되며 레조루핀(Resorufin)으로 전환되는 반응식을 나타낸다.
- [0022] 도 1을 참조하면, 상기 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자가 촉매(효소)로 작용하여 무색의 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine)이 산소와 반응하며 형광물질인 레조루핀으로 전환될 수 있다. 따라서 상기 산소 검출 방법은 산소가 존재할 때 레조루핀의 발광을 통하여 검출할 수 있는 턴-온 타입

(turn-on type)일 수 있다.

- [0023] 상기 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자의 덴드리머는 구체적으로 아미노기 말단 폴리아미도아민 및 하이드록시기 말단 폴리아미도아민 중 1종 이상을 포함할 수 있으며, 6세대 이상 또는 4세대에서도 가능하여 특별히 세대에 한정되는 것은 아니나, 예를 들어 6세대 아미노기 말단 폴리아미도아민 덴드리머(amine-terminated generation 6 polyamidoamine dendrimer, G6-NH₂) 및 6세대 하이드록시기 말단 폴리아미도아민 덴드리머(hydroxyl-terminated generation 6 polyamidoamine dendrimer, G6-OH) 중 1종 이상을 포함할 수 있다.
- [0024] 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자는 덴드리머 내부에 포획된(캡슐화된) 백금 나노입자의 원자 수에 따라 산소 검출 효과가 달라질 수 있다. 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자는 바람직하게 덴드리머당 200개 이상의 영가 백금 원자가 포획되는 것이 산소 검출에 유리할 수 있다. 덴드리머당 영가 백금 원자가 200개 미만으로 포획되는 경우 산소 검출 효과가 크게 떨어지는 문제가 있을 수 있다. 덴드리머 내부에 포획된 백금 나노입자의 원자수가 많아질수록 촉매 활성이 우수하게 나타나며 산소 검출을 보다 용이하게 할 수 있다. 그러나 많은 양의 백금 원자를 포획하기 위해서는 덴드리머의 크기가 커져야 하나, 1560개 초과인 백금 원자를 포획하기 위해서는 덴드리머의 세대와 크기를 증가시켜야 할 필요가 있으며, 6세대 덴드리머의 경우 백금 촉매 나노입자의 안정성이 떨어질 수 있어, 촉매 안정성을 위해 6세대 덴드리머의 경우 덴드리머당 백금 나노입자는 1560개 이하로 포함되는 것이 바람직하다.
- [0025] 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자는 덴드리머당 백금 나노입자를 200개 이상 포함하는 것이 산소 검출을 위한 촉매로서 선호되며, 아미노기 말단 폴리아미도아민 덴드리머 및 하이드록시기 말단 폴리아미도아민 덴드리머 모두 덴드리머당 200개의 백금 나노입자를 내부에 포획할 수 있으나, 촉매성 향상을 위해 덴드리머당 포획되는 백금 나노입자의 수를 늘리기 위해서는 하이드록시기 말단 폴리아미도아민 덴드리머를 사용하는 것이 바람직하다.
- [0026] 덴드리머에 포획되는 백금 나노입자는 이온의 형태로 덴드리머 내부로 침투한 후 환원되어 영가의 백금 나노입자로 존재하며, 이때 덴드리머에 포획된 백금 나노입자의 직경은 바람직하게 1.8 ~ 3.6 nm일 수 있다. 덴드리머에 포획된 백금 나노입자의 직경이 1.8 nm 미만인 경우, 지나치게 작은 백금 입자 크기로 인해 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자의 산화 효소 모방체로서의 촉매성이 떨어지는 문제가 발생할 수 있으며, 반대로 덴드리머에 포획된 백금 나노입자의 직경이 3.6 nm를 넘어가는 경우 덴드리머 내 백금입자의 안정성이 낮아져 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자의 촉매성이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 산소 센서 장치는 상기 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자의 촉매성을 이용하여 산소 검출이 가능한 산소 센서 장치로서, 덴드리머 및 상기 덴드리머의 내부에 포획된 백금 나노입자를 포함하는 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자 및 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(10-acetyl-3,7-dihydroxyphenoxazine)을 포함하여, 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진이 레조루핀(Resorufin)으로 전환되며, 레조루핀의 발광을 통해 산소를 센싱하는 장치이다.
- [0028] 이하, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예에 대하여 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [0030] **[제조예 : 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자의 제조]**
- [0031] 10mM Cu(NO₃)₂ 수용액 55몰 당량을 1μm 6세대 하이드록시기 말단 폴리아미도아민 덴드리머(G6-OH) 수용액에 가하였다. 그 다음, 적절한 양의 100 mM K₂PtCl₄를 첨가하여(예를 들어, 각각 220, 550, 880, 1,320몰 당량; 각각 실시예 1 내지 4에 상응함) 용액에서 Pt²⁺/G6-OH 비율을 조절하였다. 0.3 M NaOH 수용액을 사용하여 용액의 pH를 약 11로 조절한 후, 5분 간 교반하여 Cu²⁺ 전구체 이온을 G6-OH의 내부 3 차 아민에 착화시켰다. 이 시점에서, 상기 용액을 질소로 퍼지시키고 나머지 합성을 위해 질소 존재 하에서 방치하였다.
- [0032] 이후, 상기 용액에 Pt²⁺ 전구체로 사용된 것과 동일한 몰 당량의 0.1 M NaBH₄를 첨가하였다. 또한, NaBH₄과 동일한 몰 당량의 0.2 M HCl을 첨가한 후, 상기 용액의 pH가 약 9를 초과하도록 유지하면서 상기 용액을 5분 간 더 교반하였다.
- [0033] 상기 용액의 색이 옅은 황색에서 진한 갈색으로 변화하였고, 이로부터 반복적으로 결합된 화학적 환원 및 갈바

닉 교환반응을 통해 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자(즉, $G6-OH(Pt)_n$, $n=220, 550, 880$ 또는 $1,320$; 각각 실시예 1 내지 4에 상응함)가 생성되었음을 알 수 있다. 상기 용액에 존재할 수 있는 미반응 BH_4^- 는 4 몰 당량의 $HClO_4(BH_4^-$ 의 당량 대비)를 상기 용액에 첨가하여 산화시켰다.

[0034] 상기와 같이 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자를 합성함에 있어서, 상기 용액의 pH값을 적절히 조절하는 것이 중요하다. 상기 용액의 pH가 적절히 조절되지 않으면, $G6-OH$ 외부에서 Pt^{2+} 의 불완전하고 제어되지 않은 갈바닉 환원이 발생할 수 있다.

[0035] 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(Amplex Red, Thermo Fisher Scientific, Inc.)과 함께 상기 제조예에서 제조된 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자의 조성만을 하기 표 1과 같이 달리하여 실시예 1 내지 5 및 비교예 1을 제조하였다.

표 1

[0036]	덴드리머 종류	백금 함량(몰 당량)
실시예 1	$G6-OH^{1)}$	Pt_{220}
실시예 2	$G6-OH$	Pt_{550}
실시예 3	$G6-OH$	Pt_{880}
실시예 4	$G6-OH$	Pt_{1320}
실시예 5	$G6-NH_2^{2)}$	Pt_{200}
비교예 1 ³⁾	-	-

[0037] 1) $G6-OH$: 6세대 하이드록시기 말단 폴리아미도아민 덴드리머

[0038] 2) $G6-NH_2$: 6세대 아미노기 말단 폴리아미도아민 덴드리머

[0039] 3) 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자 없이 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진만을 사용

[0041] [실험예 1 : 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자를 이용한 산소 검출]

[0042] 상기 제조예에서 제조한 실시예 1 내지 5 및 비교예 1에 대하여 0.1 M 인산염 완충액(pH 7.4)에서 산소 포화 용액에서 시간에 따른 586 nm 파장의 발광정도를 측정하였으며, PMT 전압 600V, 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자의 농도는 실시예 1 내지 5에서 모두 100 nM로 하였으며, 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(Amplex Red)는 실시예 1 내지 5 및 비교예 1 모두 20 μ M 사용하여 그 결과를 도 2에 나타내었다.

[0043] 도 2에서, i는 비교예 1, ii는 실시예 5, iii는 실시예 1, iv는 실시예 2, v는 실시예 3, vi는 실시예 4의 결과를 나타낸 것이다.

[0044] 도 2를 참조하면, 산소 포화 용액에서 실시예 1 내지 5 (ii~vi)모두 발광을 나타내며, 이는 용액에 용해된 산소로 인해 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진이 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자 촉매를 통해 레조루핀(Resorufin)으로 전환된 것을 의미한다.

[0045] 그러나, 비교예 1(i)의 경우 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자 촉매를 포함하지 않아 산소 포화 용액에서 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(Amplex Red)이 레조루핀(Resorufin)으로 전환되지 못하고 발광이 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다.

[0047] [실험예 2 : 산소 포화 정도에 따른 발광 세기 비교]

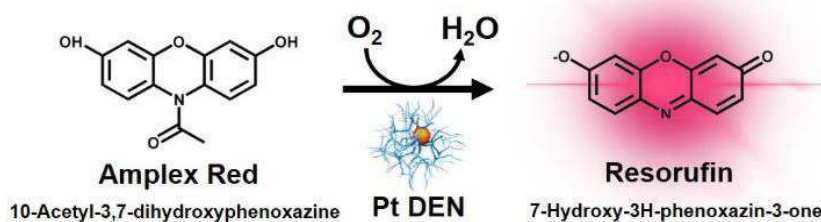
[0048] 도 3은 덴드리머-캡슐화 백금 나노입자를 포함하지 않는 경우(비교예 1, i)와 $G6-NH_2(Pt_{200})$ 를 포함한 경우(실시예 5, ii)에 대하여, 20 μ M Amplex Red 용액(O_2 포화 0.1 M 인산염 완충액(pH 7.4))의 20분 후를 Galaxy S10

스마트폰 카메라로 찍은 사진이다.

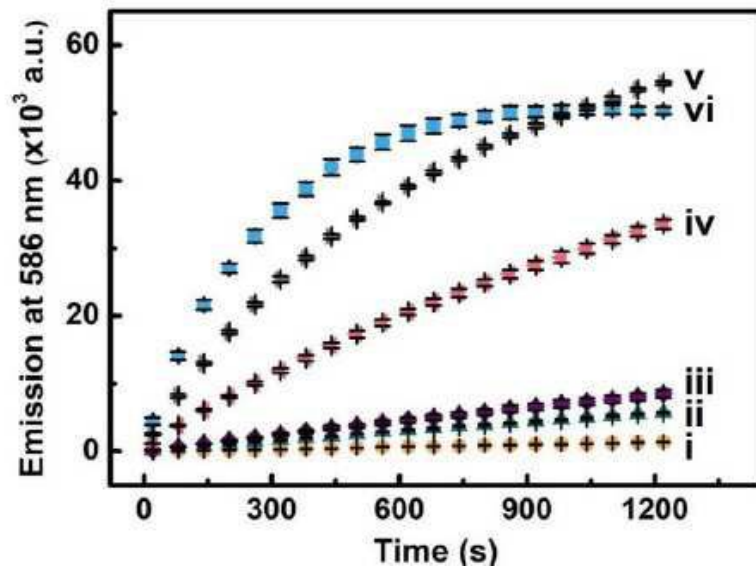
- [0049] 도 3을 참조하면, 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(Amplex Red)만을 포함한 비교예 1(i)의 경우 산소가 포화되더라도, 무색을 유지하였으나, 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(Amplex Red)과 함께 G6-NH₂(Pt₂₀₀)를 포함한 실시예 5의 경우 포화된 산소로 인하여 가시적으로 용액의 색이 변화하였음을 확인할 수 있다.
- [0050] 나아가 도 4는 상기 실시예 5를 산소 포화도 정도를 달리하여 시간에 따른 흡광도의 크기를 비교하여 나타낸 그래프이다. 도 4의 i는 N₂가 포화된 경우, ii는 공기(air)포화인 경우, iii는 산소가 포화된 경우의 0.1 M 인산염 완충액(pH 7.4)에서 20 μM 10-아세틸-3,7-디히드록시페녹사진(Amplex Red)에 대한 572 nm에서의 시간 의존적 흡광도를 나타낸 것이다.
- [0051] 도 4를 참조하면, 산소를 미량으로 포함하고 질소로 포화된 경우(i) 흡광도가 거의 나타나지 않은 것을 확인할 수 있으며, 산소를 약 20% 정도 포함하고 있는 공기(air)로 포화된 경우(ii) 흡광도가 유의미하게 상승하는 것을 확인할 수 있으며, 산소(O₂)로 포화된 경우(iii) 흡광도가 매우 크게 상승하는 것을 확인할 수 있어, 발광 정도가 산소 농도에 비례하는 것을 확인할 수 있다.
- [0053] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고, 청구범위에 기재된 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능하다는 것은 당 기술분야의 통상의 지식을 가진 자에게는 자명할 것이다.

도면

도면1



도면2



도면3



도면4

