



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0085863

(43) 공개일자 2015년07월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C08G 61/12 (2006.01) C08L 65/00 (2006.01)

H01L 31/042 (2014.01)

(21) 출원번호 10-2014-0005660

(22) 출원일자 2014년01월16일

심사청구일자 2014년01월16일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)

(72) 발명자

권용구

서울특별시 동작구 알마타길 37, 대림e편한세상아파트 104-2002 (대방동)

석민균

인천광역시 남구 인하로67번길 24-10, 302호
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김홍균

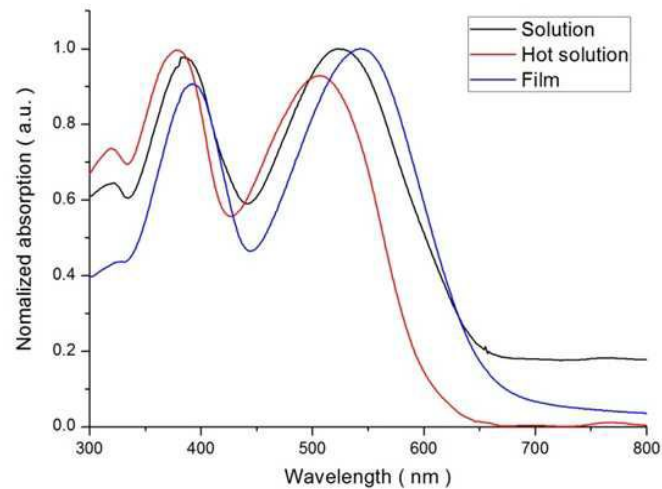
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 전자주개 물질로 사용되는 고분자 화합물, 이의 제조방법 및 상기 고분자 화합물을 포함하는 유기태양전지

(57) 요약

본 발명은 전자주개 물질로 사용되는 고분자 화합물 및 이의 제조방법, 상기 고분자 화합물을 포함하는 유기태양전지를 제공한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

허성익

서울특별시 강서구 등촌로53길 39, 테진아름아파트
103동 708호

장세현

서울특별시 영등포구 당산동6가 121-127

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2009-0093204

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기후변화대응 기초원천기술개발사업

연구과제명 새로운 전자활성물질 개발을 통한 고효율 유기태양전지의 제조

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2013.09.30 ~ 2014.09.29

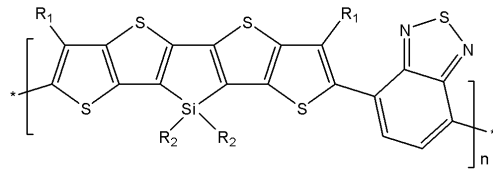
명세서

청구범위

청구항 1

하기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물.

[화학식 1]



상기 화학식 1에서, R₁ 및 R₂는 서로 동일하거나 상이하며, 각각 독립적으로 수소 또는, 직쇄 또는 분지상의 C₁~C₂₀의 알킬기이며,

n은 35 내지 140의 정수이다.

청구항 2

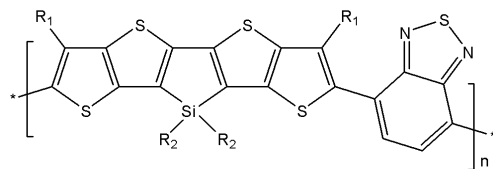
제1항에 있어서,

상기 R₁은 데실기(decyl)이고, 상기 R₂는 에틸기(ethyl)인 고분자 화합물.

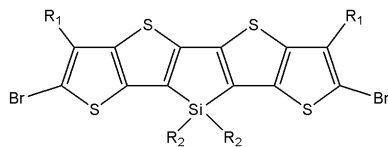
청구항 3

하기 화학식 2로 표시되는 화합물과 하기 화학식 3으로 표시되는 화합물을 팔라듐 촉매 존재 하에서 스즈키 커플링 반응시켜 하기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물을 제조하는 방법.

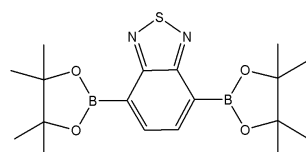
[화학식 1]



[화학식 2]



[화학식 3]



상기 화학식 1 내지 화학식 3에서,

R_1 및 R_2 는 서로 동일하거나 상이하며, 각각 독립적으로 수소 또는, 직쇄 또는 분지상의 $C_1 \sim C_{20}$ 의 알킬기이며, n 은 35 내지 140의 정수이다.

청구항 4

제3항에 있어서,

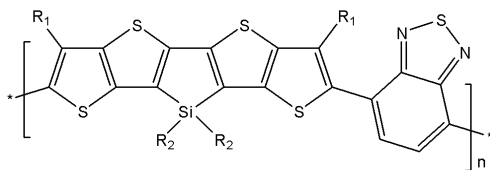
상기 화학식 2로 표시되는 화합물은,

하기 화학식 4로 표시되는 화합물을 이중 리튬 치환한 후, $(R_2)_2SiCl_2$ 로 표시되는 화합물을 브릿지(bridge)시켜 하기 화학식 5로 표시되는 화합물을 형성하는 단계; 및

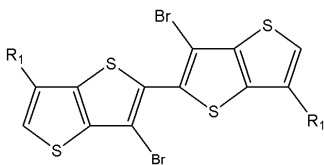
하기 화학식 5로 표시되는 화합물을 이중 브롬 치환하여 상기 화학식 2로 표시되는 화합물을 형성하는 단계;

를 통해 제조되는 하기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물의 제조방법.

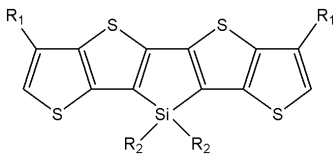
[화학식 1]



[화학식 4]



[화학식 5]



상기 화학식 1, 화학식 4 및 화학식 5에서,

R_1 및 R_2 는 서로 동일하거나 상이하며, 각각 독립적으로 수소 또는, 직쇄 또는 분지상의 $C_1 \sim C_{20}$ 의 알킬기이며,

n 은 35 내지 140의 정수이다.

청구항 5

제1항의 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물을 포함하는 광발전소자.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 광발전소자는 유기태양전지인 것을 특징으로 하는 광발전소자.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 전자주개 물질로 사용되는 고분자 화합물, 이의 제조방법 및 상기 고분자 화합물을 포함하는 유기태

[0001]

양전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 급속화되고 있는 석유자원 고갈과 환경보존이라는 이슈가 맞물려 대체에너지 연구에 대한 요구가 많아지고 있다. 그 중에서 가장 각광받는 분야가 태양전지 분야이며, 거의 무한대에 가까운 에너지 자원이면서도 친환경적이고, 높은 효율을 가지는 것으로 알려져 있다.

[0003] 태양전지는 오래 전부터 무기물을 기반으로 한 태양전지의 개발이 이루어져 오고 있으며, 최근에 들어서는 상용화를 위해 높은 가격 경쟁력을 가지는 태양전지의 개발이 이슈가 되고 있다. 이러한 추세로 인해 기존의 벌크(bulk)한 태양전지보다 얇은 박막형 태양전지 위주로 개발이 진행되고 있다. 발전(plant)용 태양전지의 개발은 대부분 무기물 타입의 태양전지가 주를 이루고 있으며, 저가형 휴대기기의 발전용으로 유기태양전지가 개발되고 있다.

[0004] 이러한 유기태양전지는 박막화가 가능하고, 연속 생산과 가격 경쟁력면에서 장점이 있으나, 효율이 낮은 단점을 가지고 있다. 이에 따라, 유기태양전지에 저분자 물질들을 이용해서 효율을 증가시키기 위한 다양한 연구를 진행하였음에도 불구하고 여전히 효율이 낮은 단점을 가지고 있다. 이에, 당업계에서는 유기태양전지에 적용이 적합하면서도, 효율이 우수한 공액형 고분자의 개발이 절실히 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

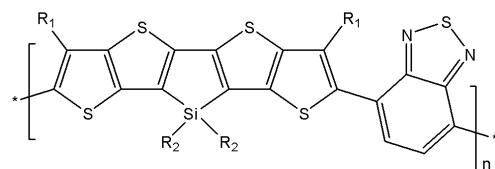
[0005] 본 발명은 정공이동도가 높고, 밴드갭이 낮으며, 열적 특성이 우수한 고분자 화합물 및 이의 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0006] 또한, 본 발명은 상기 고분자 화합물을 전자주개 물질로 사용하는 유기태양전지를 제공하는 것도 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명은 하기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물을 제공한다.

화학식 1



[0008]

상기 화학식 1에서,

[0009]

[0010] R_1 및 R_2 는 서로 동일하거나 상이하며, 각각 독립적으로 수소 또는, 직쇄 또는 분지상의 $C_1 \sim C_{20}$ 의 알킬기이며,

[0011]

[0012] n 은 35 내지 140의 정수이다.

[0013]

[0014] 여기서, 상기 R_1 은 데실기(decyl)이고, 상기 R_2 는 에틸기(ethyl)인 것이 바람직하다.

[0015]

[0016] 또한, 본 발명은 상기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물의 제조방법을 제공한다.

[0017]

[0018] 아울러, 본 발명은 상기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물을 포함하는 유기태양전지를 제공한다.

[0019]

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따른 고분자 화합물은 정공이동도가 높고 밴드갭이 낮으며, 열적으로 매우 안정적이기 때문에 유기태양전지에 적용할 수 있다. 또한, 본 발명의 고분자 화합물은 스즈키 커플링 반응에 의해 쉽고 간단하게 제조될

[0021]

수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 실시예에 따른 고분자 화합물의 흡수 스펙트럼을 나타낸 것이다.

도 2는 실시예에 따른 고분자 화합물의 전기화학적 스펙트럼을 나타낸 것이다.

도 3은 실시예에 따른 고분자 화합물의 TGA(Thermogravimetric analysis) 분석 결과를 나타낸 그래프이다.

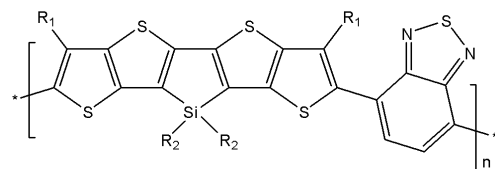
발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

1. 고분자 화합물 및 이의 제조방법

본 발명은 하기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물을 제공한다.

[화학식 1]



상기 화학식 1에서, R₁ 및 R₂는 서로 동일하거나 상이하며, 각각 독립적으로 수소 또는, 직쇄 또는 분지상의 C₁~C₂₀의 알킬기이며, n은 35 내지 140의 정수이다.

상기 R₁은 바람직하게는 데실기(decyl)이고, R₂는 에틸기(ethyl)이다.

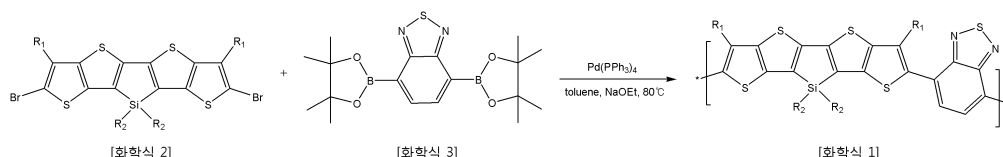
상기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물은, 싸이오펜 유도체의 기본 골격에 실물기를 결합시켜 형성된 구조적 특이성을 갖는다. 이러한 구조적 특이성에 의해 상기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물은 높은 정공이동도 및 낮은 밴드갭을 나타내게 된다.

본 발명은 이러한 특성을 가지는 상기 화학식 1의 고분자 화합물을 전자주개 물질로 적용함에 따라 유기태양전지를 제공할 수 있다.

본 발명에 따른 상기 화학식 1로 표시되는 고분자 화합물은 다양한 방법으로 제조될 수 있다.

본 발명의 실시예에 따르면, 하기 화학식 2로 표시되는 화합물과 하기 화학식 3으로 표시되는 화합물을 팔라듐 촉매 존재 하에서 스즈키 커플링 반응(Suzuki coupling reaction)을 시켜 제조될 수 있다.

[반응식 1]



상기 반응식 1에서, R₁ 및 R₂는 서로 동일하거나 상이하며, 각각 독립적으로 수소 또는, 직쇄 또는 분지상의 C₁~C₂₀의 알킬기이며, n은 35 내지 140의 정수이다.

상기 R₁은 바람직하게는 데실기(decyl)이고, R₂는 에틸기(ethyl)이다.

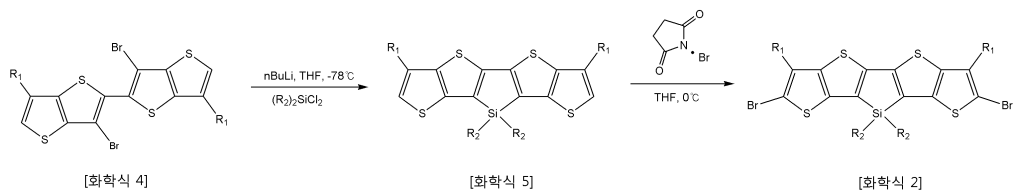
구체적으로, 상기 화학식 2로 표시되는 화합물은 2,7-dibromo-3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno[3,2-b:2',3'-d])silole이며, 하기 화학식 3으로 표시되는 화합물은 2,1,3-Benzothiadiazole-4,7-bis(boronic acid pinacol ester)이다. 이와 같은 두 가지의 화합물을 유기용매(예를 들어, 톨루엔)에 용해한

후, 비활성 기체 분위기의 팔라듐 촉매 존재 하에서 스즈키 커플링 반응을 통해 본 발명의 고분자 화합물을 제조할 수 있다.

상기 반응식 1에서, 2,7-dibromo-3,6-didecanyl-9,9'bis(ethyl)-bis(dithieno[3,2-b:2',3'-d])silole(화학식 2)와 2,1,3-Benzothiadiazole-4,7-bis(boronic acid pinacol ester)(화학식 3)의 반응 비율은 특별히 한정되지 않으나, 1:1~1:1.2 몰 비로 반응될 수 있으며, 1:1 몰 비인 것이 바람직하다. 상기 유기용매의 사용량은 특별히 한정되지 않으며, 통상적인 범위 내에서 적절히 조절할 수 있다.

한편, 상기 화학식 2로 표시되는 화합물의 제조방법은 특별히 한정되지 않으나, 하기 반응식 2와 같은 과정을 통해 제조될 수 있다.

[반응식 2]



상기 반응식 2에서, R₁ 및 R₂는 서로 동일하거나 상이하며, 각각 독립적으로 수소 또는, 직쇄 또는 분지상의 C₁~C₂₀의 알킬기이다.

상기 R₁은 바람직하게는 데실기(decyl)이고, R₂는 에틸기(ethyl)이다.

상기 반응식 2에 도시된 바와 같이, 상기 화학식 2로 표시되는 화합물은 상기 화학식 4로 표시되는 화합물을 이중 리튬 치환(double lithiation)한 후, $(R_2)_2SiCl_2$ 로 표시되는 화합물을 브릿지(bridge)시켜 상기 화학식 5로 표시되는 화합물을 형성하는 단계; 및 상기 화학식 5로 표시되는 화합물을 이중 브롬 치환(double bromination)하여 상기 화학식 2로 표시되는 화합물을 형성하는 단계를 통해 제조될 수 있다.

구체적으로 설명하면, 먼저 Bis{2,2'-(3-bromo-6-decylthieno[3,2-b]thienyl)}(화합식 4)을 유기용매(예를 들어, THF)에 용해하고, n-butyllithium을 첨가하여 이중 리튬 치환한 후, dichlorodiethylsilane을 첨가하여 브릿지시켜 상기 화학식 5로 표시되는 화합물을 형성한다.

여기서, Bis{2,2'-(3-bromo-6-decylthieno[3,2-b]thienyl)}(화합식 4)와 dichlorodiethylsilane의 반응 비율은 특별히 한정되지 않으나, 1:1~1:1.2 몰 비로 반응될 수 있으며, 바람직하게는 1:1 몰 비일 수 있다. 상기 유기 용매의 사용량은 특별히 한정되지 않으며, 통상적인 범위 내에서 적절히 조절할 수 있다.

이후, 상기 화학식 5로 표시되는 화합물을 유기용매(예를 들어, THF)에 용해하고, N-bromosuccinimide를 첨가하여 이중 브롬 치환하여 상기 화학식 2로 표시되는 화합물을 형성한다.

상기 화학식 5로 표시되는 화합물과 N-bromosuccinimide의 반응 비율은 특별히 한정되지 않으나, 1:2~1:3 몰 비로 반응될 수 있다.

상기와 같은 과정을 통해 상기 화학식 5로 표시되는 화합물의 기본골격의 2번 및 7번 탄소위치에 결합된 수소가 브롬으로 치환된 상기 화학식 2로 표시되는 화합물을 제조할 수 있다.

2. 유기태양전지

본 발명은 상기 고분자 화합물(화학식 1)을 포함하는 유기태양전지를 제공한다. 상기에서 언급한 바와 같이 본 발명의 고분자 화합물은 싸이오펜 유도체의 기본 골격에 실롤기가 결합된 구조적 특성에 의하여, 높은 정공이동도 및 낮은 밴드갭의 특성을 나타낸다. 본 발명은 이와 같은 특성을 가지는 고분자 화합물을 전자주개 물질로 이용한 유기태양전지를 제공할 수 있다.

본 발명의 유기태양전지는 상기 화학식 1로 표시되는 전자주개 물질과 전자받개 물질을 적절한 비율로 변화시켜서 높은 효율을 가지고, 스핀코팅이 가능하게 함으로써 넓은 면적의 유기태양전지 소자의 제조가 가능하다.

일반적으로, 유기태양전지 소자는 ITO 기판 상부에 애노드가 형성되어 있고, 상기 애노드 상부에 전도성

고분자, 전자 주개층, 전자 받개층, 엑시톤 방해층, 캐소드가 순차적으로 형성되어 있는 구조를 가지고 있다.

[0049] 작동원리는 소자에 빛이 조사되면 빛에 의해서 전자 주개층에서 엑시톤(exciton)이 형성이 된다. 상기 엑시톤은 유기층을 따라서 이동하며 전자 받개층까지 이동하게 되는데, 이때 전자 전하도가 매우 큰 폴리렌 계면으로 이동하므로, 계면에서 폴리렌과 유기물 사이의 광유도 전하분리현상(Photoinduced charge transfer)을 통해서 엑시톤에 의해서 생긴 홀(hole, 정공)과 전자의 쌍이 계면에서 전하 분리(charge separation)가 일어난다. 그 후, 형성된 홀과 전자는 각각 전자는 전자전하도가 큰 폴리렌 층을 따라서 캐소드 전극으로 이동하게 되고, 홀(정공)은 애노드 쪽으로 이동하게 되면서 전류가 형성되게 된다.

[0050] 이하, 본 발명을 실시예에 의해 상세히 설명하기로 한다. 그러나 이들 실시예는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로서, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 한정되는 것은 아니다.

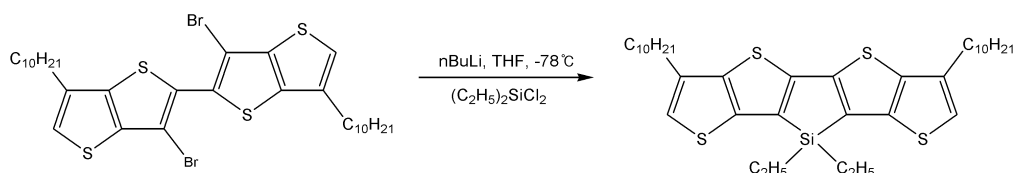
[재료 및 측정기기]

[0052] n-butyllithium solution(2.5M in hexane), n-bromosuccinimide(99%), 2,1,3-Benzothiadiazole-4,7-bis(boronic acid pinacol ester)(95%), tetrakis(triphenylphosphine) palladium(99%), Aliquat 336, tetrahydrofuran anhydrous(99.9%), methanol anhydrous(99.8%), toluene anhydrous(99.8%)는 Sigma-Aldrich사에서 구입하였고, dichlorodiethylsilane(94%)는 Alfa Aesar사에서 구입하였으며, 모든 시약 및 용매는 추가의 정제없이 사용하였다.

[0053] ¹H-NMR 분석 및 ¹³C-NMR 분석은 Varian Inova 400(400MHz)을 사용하였다. 겔투과 크로마토그래피(Gel permeation chromatography, GPC)는 Waters Associates 40 RI detector, 510 HPLC pump 및 i-Styragel columns를 사용하였다. 이때, 전개액은 tetrahydrofuran(THF)를 사용하였다. 제조된 화합물의 분광특성 및 전기 화학특성은 각각 Agilent 8453 spectrophotometer 및 PGSTAT 101(Autolab company)를 사용하여 측정하였다. 열중량 분석(Thermogravimetric analysis)은 TA사의 DSC200F3을 이용하여 측정하였다.

[실시예] poly[(3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno[3,2-b:2',3'-d])silole)-2,6-diyl-alt-(2,1,3-benzothiadiazole)-4,7-diyl]의 합성

[0055] <단계 1> 3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno)silole의 합성

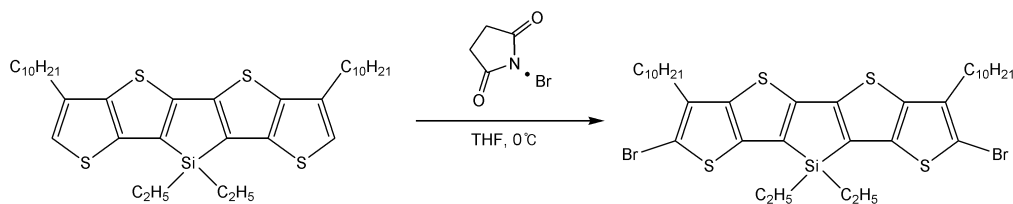


[0057] Bis{2,2'-(3-bromo-6-decylthieno[3,2-b]thienyl)}(3.35g, 4.7mmol)을 THF(90ml)에 녹이고 78℃로 냉각하였다. 이후, n-butyllithium(4.2ml, 2.50M in hexane)을 가하고, 15분 후에 dichlorodiethylsilane(1.35ml, 4.7mmol)을 한번에 넣어주었다. 반응이 종료된 후, 물(10ml)을 넣고 용매를 제거한 후에 diethyl ether로 3번 추출하고 물로 3번 씻은 후, MgSO₄로 수분을 제거하고, 액체컬럼크로마토그래피를 통해서 노란색 액체 화합물인 3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno)silole (1.44g, 48%)을 분리하였다.

[0058] ¹H NMR (400MHz, CDCl₃): δ (ppm) 7.07 (s, 2H), 2.67 (t, 4H), 1.71 (m, 4H), 1.31-1.23 (m, 32H), 0.84 (t, 12H)

[0059] 분자량: C₃₆H₅₄S₄Si [M]⁺에 대한 계산상 수치 643.16, MALDE-MS 데이터: 643.25

[0060] <단계 2> 2,7-dibromo-3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno[3,2-b:2',3'-d])silole 의 합성



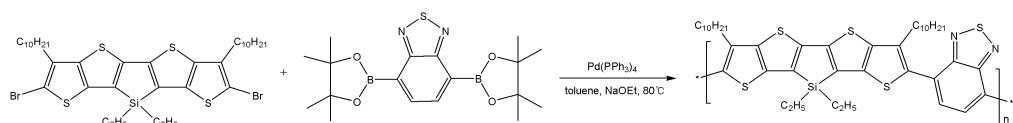
[0061]

[0062] 실시예의 <단계 1>에서 제조된 화합물인 3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno)silole (1.44g, 2.24mmol)을 THF(26ml)에 녹이고, THF에 녹인 N-bromosuccinimide(1.0g, 5mmol)을 0°C에서 드롭방식(dropwise)으로 추가하였다. 그 후, 온도를 상온으로 올려주고 반응이 끝나면 물로 퀀칭(quenching)하였다. 반응물을 diethyl ether로 여러번 추출하고, 물로 3번 행군 후 $MgSO_4$ 로 수분을 제거하고 용매를 제거하였다. 남은 화합물을 액체컬럼크로마토그래피를 이용하여 끈끈한 노란색 액체인 화합물 2,7-dibromo-3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno[3,2-b:2',3'-d])silole (2.0g, 2.5mmol, 86%)를 얻었다.

[0063] ^1H NMR (400MHz, $CDCl_3$): δ (ppm) 2.72 (t, 4H), 1.69 (m, 4H), 1.35-1.26 (m, 22H), 1.09-0.98 (m, 8H) 1.00-0.87 (t, 12H)

[0064] 분자량: $C_{36}H_{52}Br_2S_4Si$ $[M]^+$ 에 대한 계산상 수치 800.95, MALDI-MS 데이터 : 800.2128

[0065] <단계 3> poly[(3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno[3,2-b:2',3'-d])silole)-2,6-diyl-alt-(2,1,3-benzothiadiazole)4,7-diyl]의 합성



[0066]

[0067] 실시예의 <단계 2>에서 제조된 화합물인 2,7-dibromo-3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno[3,2-b:2',3'-d])silole (200mg, 0.25mmol)과 2,1,3-Benzothiadiazole-4,7-bis(boronic acid pinacol ester)(97mg, 0.25mmol), K_2CO_3 (2.5ml, 2.5M) 및 aliquat 336 한방울을 첨가한 톨루엔(5ml)과 K_2CO_3 (2.5ml, 2.5M)을 녹인 물 (1.25ml)을 50ml 쉬링크 플라스크(Schlenk flask)에 넣었다. 플라스크에 진공과 아르곤 주입을 3차례 반복하여 완벽한 비활성 기체 분위기를 만든 후, tetrakis(triphenylphosphine)palladium을 넣었다. 그 후, 80°C에서 24 시간 동안 반응시켰다. 반응물을 methanol에 침전시키고 걸러주고, 다시 THF에 녹인 후에 methanol에 재침전시켰다. 필터링한 후, acetone, methanol, hexane, chloroform으로 속슬렛 추출(S Soxhlet extraction)하고 잔여물 (검붉은색 고체)인 poly[(3,6-didecanyl-9,9'-bis(ethyl)-bis(dithieno[3,2-b:2',3'-d])silole)-2,6-diyl-alt-(2,1,3-benzothiadiazole)4,7-diyl] (208mg, 69%)을 수득하였다.

[0068] ^1H NMR (400MHz, $CDCl_3$): δ (ppm) 7.66-7.73 (d, 2H), 2.75-2.82 (t, 4H), 1.64-1.8 (m, 4H), 1.55-1.21 (m, 32H), 0.92 (t, 12H)

[0069] 분자량: 겔투과크로마토그래피 시험 결과 M_n : 56,995, M_w : 68,998 PDI : 1.21

[0070] [실험예 1] 화합물의 광흡수 스펙트럼 특성 평가

[0071] 실시예에서 제조된 화합물의 광흡수 스펙트럼 특성을 평가하기 위하여, 상온 및 고온에서의 클로로벤젠 용매 하 및 고체 필름에서 흡수 특성을 조사하였으며, 그 결과는 도 1에 나타내었다.

[0072] 도 1에서 알 수 있는 바와 같이, 화합물은 클로로벤젠 용매 하에서 385nm, 525nm에서의 주된 흡수를 보여주었고, 고체 필름 상에서는 392nm, 560nm의 흡수를 보이며, 적색 영역으로 이동하였다. 이는 화합물이 고체가 되면서 분자간의 응집으로 인한 상호작용에 의한 것으로 판단된다. 또한, 흡수 시작점을 기준으로 광학적

밴드갭은 1.82eV로 계산되었다.

[실험예 2] 화합물의 전기화학적 특성 평가

실시예에서 제조된 화합물의 전기화학적 특성을 평가하기 위하여, cyclic voltammetry를 실시하였다. 은과 은 1가 양이온을 표준 전극으로 사용하였고, glassy carbon을 작업 전극으로 사용하였으며, Pt 와이어를 카운터 전극으로 사용하였고, 페로센을 기준으로 사용하여 측정하였으며, 이때, 시료는 0.1M 테트라부틸 암모늄 헥사플로로 포스페이트를 전해질로 사용하여 측정하였다. 결과는 도 2에 나타내었다.

화합물의 HOMO 및 LUMO 에너지 값은 각각 -5.38eV, -3.53eV로 계산되었고, 밴드 갭은 1.85eV로 계산되었다.

Oxidation potential과 reduction potential을 분석한 결과, HOMO 및 LUMO 에너지 값은 각각 -5.35eV, -3.88eV로 나타났으며, 밴드갭은 1.85eV로 계산되었다.

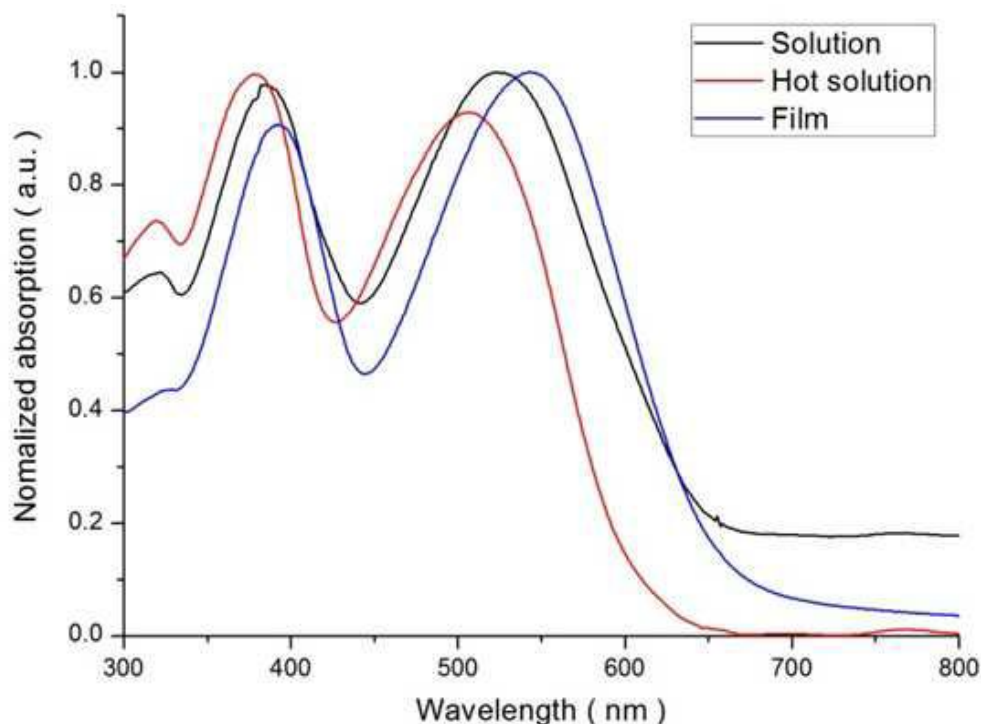
[실험예 3] 화합물의 열적 안정성 평가

실시예에서 제조된 화합물의 열적 안정성을 평가하기 위하여, 화합물의 TGA 분석을 실시하였으며, 그 결과는 도 3에 나타내었다.

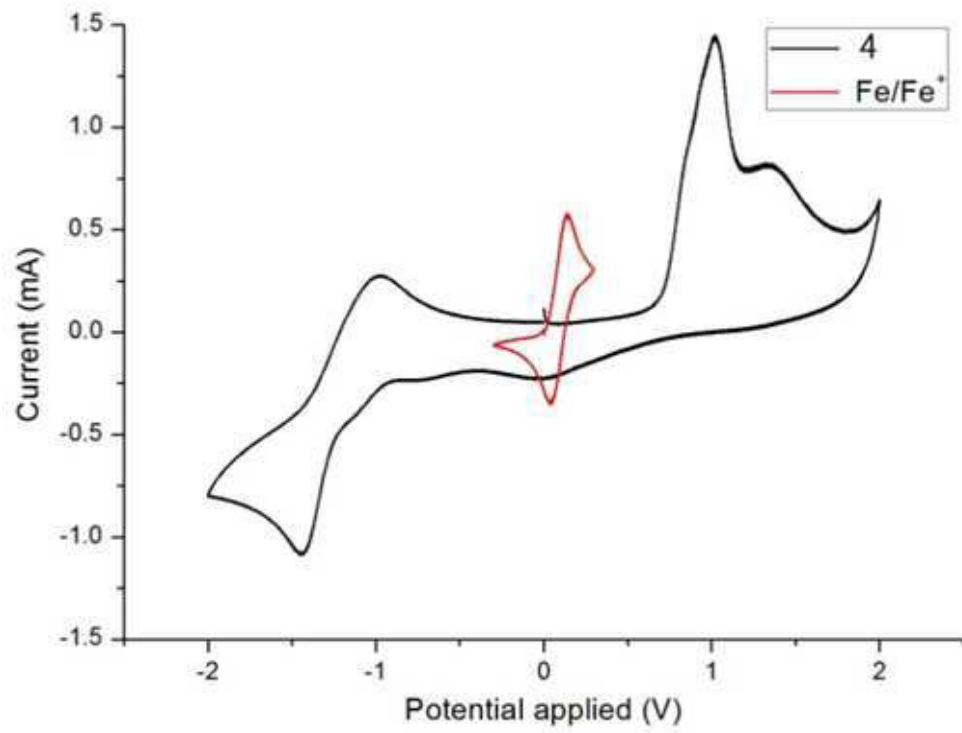
도 3에서 알 수 있는 바와 같이, 화합물의 5% 손실을 통해서 T_d 값이 405℃로 측정되었다. 이에 따라, 화합물은 열적으로 매우 안정함을 확인하였다.

도면

도면1



도면2



도면3

