



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0005476
(43) 공개일자 2011년01월18일

(51) Int. Cl.

C07D 333/72 (2006.01) H01L 51/30 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0063060

(22) 출원일자 2009년07월10일

심사청구일자 2009년07월10일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제 캠퍼스내

(72) 발명자

안광현

서울 서초구 서초2동 신동아아파트 1동 710호

김홍두

경기도 용인시 기흥구 보라동 570 민속마을 현대 모닝사이드 312동 1601호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인필엔은지

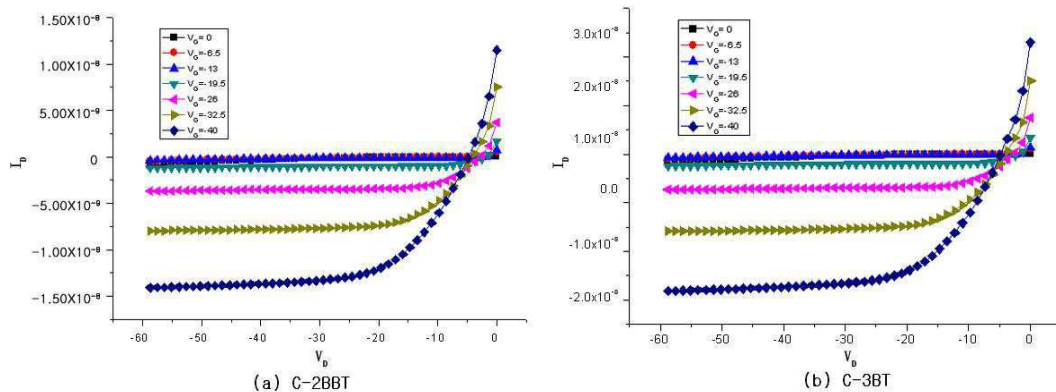
전체 청구항 수 : 총 2 항

(54) 벤조티오펜을 이용한 유기 반도체 소재와 이를 이용한 유기 박막트랜지스터

(57) 요약

본 발명은 유기 반도체(Organic Semiconductor) 소재와 이를 반도체 재료로 이용한 유기 박막트랜지스터(Organic Thin Film Transistor, OTFT)에 관한 것이다. 벤조티오펜을 이용한 구조의 본 발명의 유기반도체소재는 기존 우수한 유기반도체소재로 알려진 펜타센(pentacene)보다 우수한 전달 특성(Transfer Characteristics)과 출력 특성(Output Characteristics)을 가지고 있다. 그러므로 유기 박막트랜지스터에 유용하게 사용될 수 있다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

이한일

부산광역시 연제구 연산9동 연산엘지아파트 107동
1506호

차용범

서울특별시 서초구 방배1동 883-9 황실자이아파트
103동 401호

최성란

경기도 수원시 영통구 영통동 992-6번지 104호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GRRC-경희2009-B03

부처명 경기도

연구관리전문기관

연구사업명 경기도 지역협력 연구센터사업(GRRC)

연구과제명 새로운 유기 박막 트랜지스터 및 발광채용 소재 개발

기여율

주관기관 경희대학교 산학협력단

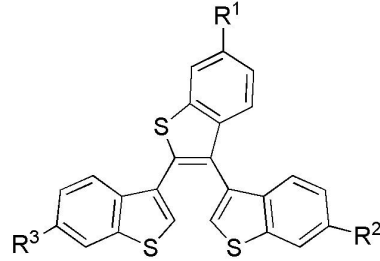
연구기간 2009년 7월 1일 ~ 2010년 6월 30일

특허청구의 범위

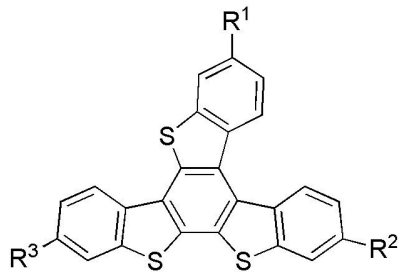
청구항 1

다음 화학식 1 내지 4로 이루어지는 군에서 선택하는 유기 반도체 재료.

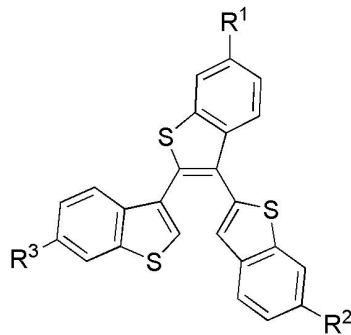
<화학식 1>



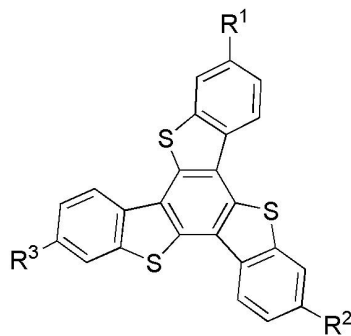
<화학식 2>



<화학식 3>



<화학식 4>



단 위 화학식 1~4에서 상기 R¹, R², R³은 수소이거나, 탄소 수 1~5개의 알킬기이고, 각각의 R¹, R², R³은 서로 같거나 다를 수 있다.

청구항 2

기관, 금속 전극, 절연체 및 반도체층을 갖춘 유기 박막 트랜지스터에 있어서, 제1항의 유기 반도체 재료를 반도체층으로 포함하는 유기 박막트랜지스터.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유기 물질을 이용한 유기 반도체 재료와 이를 이용한 유기 박막트랜지스터에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 광통신을 비롯한 통신 네트워크 기술이 빠르게 성장하여 유비쿼터스(Ubiquitous) 시대가 다가온 결과, 어떤 장소에서 컴퓨터 또는 기타 전자 장치와 물리적으로 연결이 되어 있는지를 염려할 필요 없이 자유롭게 네트워크에 접속하여 여러 가지 작업을 복합적으로 수행할 수 있는 정보통신 환경을 맞게 되었다. 한편으로 라디오와 식별(RFID) 기술의 발전도 두드러지는데, 전자 인식표(electronic tag)로 재고 관리를 더 쉽게 하고, 스마트 카드로 정보의 처리를 더욱 빨리 하는 등의 분야를 예로 들 수 있다. 이처럼 통신 네트워크 기술이 발전할수록 정보를 실시간으로 보여줄 다양한 형태의 디스플레이(넓은 벽면, 곡면 기둥, 천정에 부착할 수 있는 플렉서블 디스플레이, 투명한 디스플레이 등)가 상당히 중요한 역할을 하게 될 것이다.

[0003] 이러한 디스플레이를 보편적으로 사용하는 상황, 예를 들어 백화점이나 창고의 모든 재고·상품에 전자 인식표를 달거나, 스마트카드가 기존의 카드를 대체하려면 무엇보다 이들을 구동하는 반도체칩의 가격이 싸야 한다. 휘어지는 플라스틱 기관과 쉽게 제작할 수 있는 유기 박막을 사용하면 이러한 다양한 형태의 제품을 위한 반도체 칩을 싸게 만들 수 있으며, 이러한 기술을 "유기 전자공학(Organic Electronics)" 혹은 "플라스틱 전자공학(Plastic Electronics)" 이라고 한다. 특히 유기 박막트랜지스터(Organic Thin Film Transistor; 이하 OTFT라고 함)는 이러한 기술의 핵심 능동소자로서 현재 세계적으로 널리 연구되고 있다.

[0004] OTFT는 1964년에 CuPc를 사용하여 처음 제작한 것으로부터 그 연구가 시작되었는데, 처음에는 그 성능이 조악하여 진척이 더디다가 1983년에 폴리아세틸렌으로 $7 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 의 이동도를 이룩한 연구 결과가 보고된 이후 관심을 끌기 시작했고, 1992년에 펜타센(pentacene)으로 이동도를 $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 까지 획기적으로 향상시킴으로써 본격화하였다. 2003년에는 미국의 3M에서 펜타센으로 이동도 $5 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 를 달성함으로써 α -Si TFT의 성능을 능가하게 되었다. 현재 OTFT의 연구는 단위 소자의 성능을 개선하는 수준을 넘어서 디스플레이 장치를 구동하기 위한 후판(backplane)의 어레이와 RFID와 같은 플라스틱 칩에 사용하기 위한 연구를 수행하고 있으며 상품화가 가까워지고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0005] 본 발명의 기술적 과제는 펜타센을 반도체 재료로 이용한 종래 기술의 유기 박막트랜지스터보다 전달 특성(Transfer Characteristics)과 출력 특성(Output Characteristics) 우수한 유기 반도체 소재 및 이를 반도체 재료로 이용한 유기 박막트랜지스터를 제공하는데 있다.

과제 해결수단

[0006] 이러한 기술적 과제의 해결을 위하여, 본 발명에서는 복수의 벤조티오펜(benzothiophene)이 융합 고리를 이루고 있거나, 한 벤조티오펜이 다른 벤조티오펜 고리의 치환기가 되는 고리 연결된 구조의 유기 반도체 재료를 제공한다. 이러한 유기 반도체 재료의 구조는 본 명세서에서 상술한다.

[0007] 또한 본 발명에서는 기관, 금속 전극, 절연체 및 반도체층을 갖춘 유기 박막 트랜지스터에 있어서, 본 발명의 유기 반도체 재료를 반도체층으로 포함하는 유기 박막트랜지스터를 제공한다.

효 과

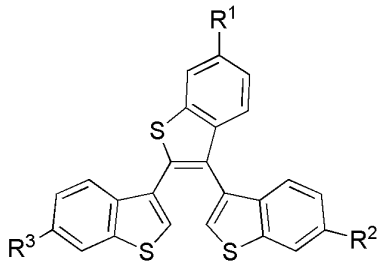
[0008] 본 발명에 따른 특징의 본 발명의 유기 반도체 소재는 높은 전달 특성을 나타낼 뿐만 아니라 출력 특성도 우수하므로, 종래 기술에 따른 펜타센 기반의 유기 박막트랜지스터와 대응하거나 더 우수한 전류 점멸비와 이동도를 제공한다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0009] 이하 본 발명을 자세히 설명한다. 본 발명에서는 높은 이동도와 전류 점멸비를 갖춘 유기 박막트랜지스터용 재료로서 복수의 벤조티오펜(benzothiophene)이 융합 고리를 이루고 있거나, 한 벤조티오펜이 다른 벤조티오펜 고리의 치환기가 되는 고리 연결 벤조티오펜의 유기 반도체 재료와 이를 반도체층으로 이용한 트랜지스터를 제공한다.

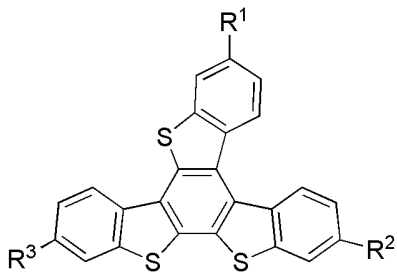
[0010] 본 발명의 유기 반도체 재료의 화학 구조는 다음 화학식 1 내지 4와 같다.

화학식 1



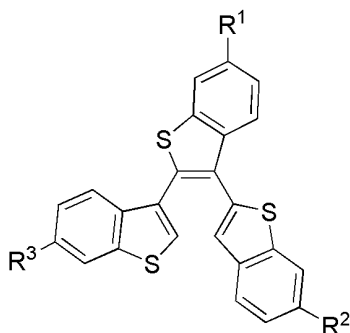
[0011]

화학식 2



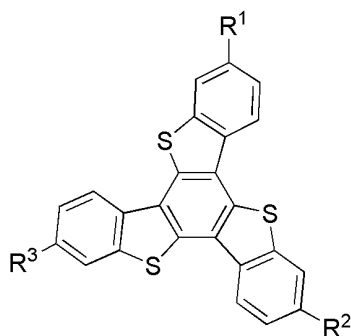
[0012]

화학식 3



[0013]

화학식 4



[0014]

[0015]

단 위 화학식 1~4에서 상기 R^1 , R^2 , R^3 은 수소이거나, 탄소 수 1~5개의 알킬기이고, 각각의 R^1 , R^2 , R^3 은 서로 같거나 다르다.

[0016]

이러한 본 발명의 유기 반도체 소재를 이용하여 반도체층을 형성한 유기 박막트랜지스터는 종래 기술에 따른 펜타센 기반 유기 박막트랜지스터보다 우수한 전달 특성과 출력 특성을 나타낸다.

[0017]

본 발명은 또한 이러한 유기 반도체 소재를 이용하여 제조한 유기 박막트랜지스터를 제공한다. 도 1은 유기 반도체 물질을 반도체층 재료로 이용하는 통상적인 유기 박막트랜지스터의 단면을 나타낸 모식도이다. 도 1의 구성을 가지는 유기 박막트랜지스터는 기판, 금속 전극, 절연층(Insulator)과 반도체층을 갖추고 있다. 여기서 반도체층을 이루는 재료로는 유기 반도체 소재가 사용된다. 유기 박막트랜지스터의 구동원리는 다음과 같다.

[0018]

금속 전극과 절연층 그리고 반도체는 절연층을 사이에 두고 금속 전극(게이트 전극)에 양전압을 인가하여 반대쪽의 반도체에 음전하(전자) 혹은 음전압을 인가하여 양전하(정공)를 절연체와 반도체 계면에 끌어당겨 전하층을 만들 수 있고 전하량도 전압의 크기로 조절할 수 있다. 이렇게 형성된 전하층 양단에 금속전극(소스와 드레인 전극)을 붙이면 하나의 저항체가 되는데 이 저항은 게이트 전극에 인가되는 전압과 소스-드레인 전압의 크기로 조절할 수 있으므로 일종의 가변 저항이 된다. 이러한 가변 저항 형성이 유기 박막트랜지스터의 간단한 동작 원리이다.

[0019]

전술한 유기 박막트랜지스터에 있어서, 반도체 재료로 전술한 유기반도체 소재가 사용된 것을 제외하고는, 기판, 금속 전극, 절연층 등은 관련 기술분야에서 통상적으로 사용되는 재료들이 특별한 구조적 제한 없이 사용될 수 있다.

실시예

[0020]

이하 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다. 다만 다음의 실시예와 실험예는 본 발명의 일부 바람직한 실시예일 뿐 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원 시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

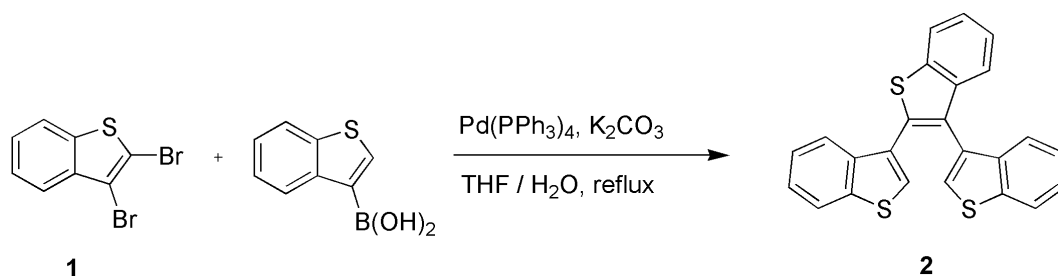
[0021]

유기 반도체 재료의 성능 평가를 위하여 아래 합성예와 같이 벤조티오펜을 이용한 상기 화학식 1 내지 4의 유기 반도체 물질을 합성하였다.

[0022]

합성예 1: 화학식 1의 반도체 재료의 합성

반응식 1



[0023]

[0024]

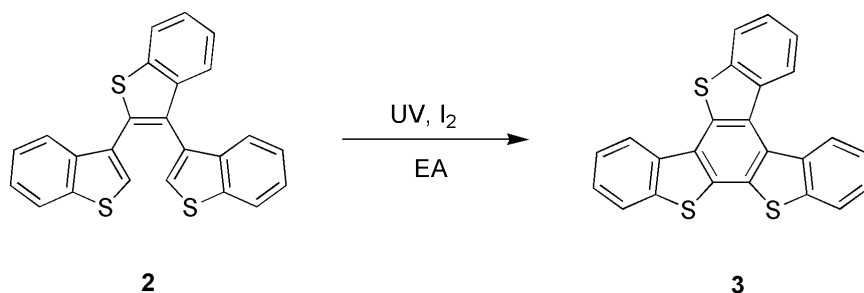
반응식 1에서 화합물 1로 표시되는 화합물(1.0 g, 3.42 mmol)을 상온에서 20 mL의 테트라하이드로퓨란(THF)에

녹인 후, 티아나프텐-3-붕소산(thianaphthene-3-boronic acid)(1.52 g, 8.56 mmol)과 테트라키스(트리페닐포스핀)팔라듐(0.20 g, 0.17 mmol)을 넣고 교반하였다. 포화 탄산칼륨 수용액(14.2 g, 103 mmol)을 여기에 넣고 3 일 동안 가열하여 환류하였다. 반응 완료 후 반응 혼합물에 물을 넣고 디클로로메탄으로 추출한 다음, 무수 황 산마그네슘으로 탈수하고, 이를 거르고 감압하에서 농축하였다. 이렇게 얻은 잔류물을 속성 컬럼 크로마토그래 피(flash column chromatography)로 분리 정제하여, 상기 반응식 1의 화합물 2(1.50 g, 2.91 mmol, 85 %)를 얻 었다. 상기 화합물 2로 표시되는 화합물에 대한 녹는점 및 $^1\text{H-NMR}$ 분석 결과는 다음과 같다. 녹는점: 169℃

$^1\text{H-NMR}$ (300 MHz, CDCl_3): δ 7.95(d, J = 7.89 Hz, 1H), 7.91~7.84(m, 2H), 7.78(d, J = 7.89 Hz, 1H), 7.55(d, J = 7.89 Hz, 1H), 7.48~7.36(m, 3H), 7.34~7.17(m, 6H)

합성예 2: 화학식 2의 반도체 재료의 합성

반응식 2



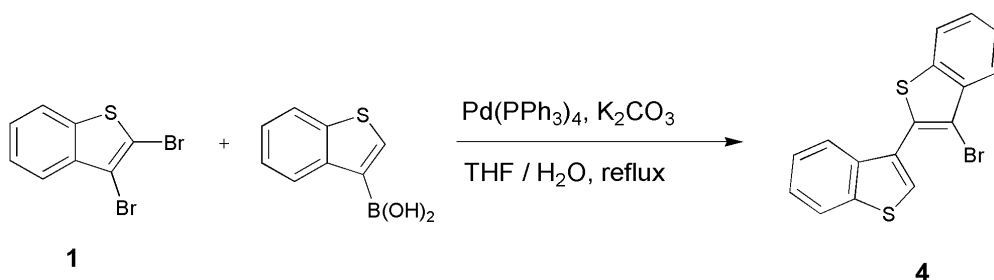
상온에서 화합물 2(0.5 g, 1.25 mmol)를 아세트산에틸(EA) 500 mL 속에 녹인 후, 요오드(6.0 mg, 0.025 mmol)를 넣고 교반하였다. 100 W 자외선 램프를 사용해서 5시간 동안 광 반응을 하였다. 반응 완료 후 내용물을 거르고 감압 농축하였다. 얻어진 잔류물을 속성 컬럼 크로마토그래피로 분리 정제하여 상기 반응식 2의 화합물 3(86.4 mg, 0.25 mmol, 86 %)을 얻었다. 상기 화합물 3의 녹는점, $^1\text{H-NMR}$ 및 질량 분석 결과는 다음과 같다. 녹는점: 179℃

$^1\text{H NMR}$ (300 MHz, CDCl_3) : δ 9.07~9.05(m, 1H), 8.05~8.01(m, 1H), 7.71~7.54(m, 10H).

HRMS (70 eV, EI^+): $\text{C}_{24}\text{H}_{12}\text{S}_3$ 에 대한 m/z 계산값: 396.0101. 실험값: 396.0110.

합성예 3: 화학식 3의 반도체 재료의 합성

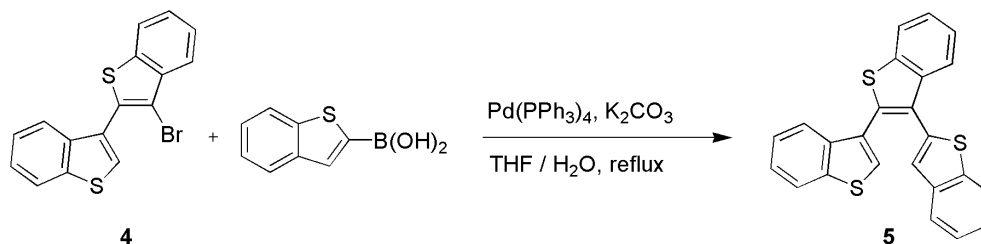
반응식 3



반응식 3의 상기 화합물 1(1.0 g, 3.42 mmol)을 상온에서 10 mL의 테트라하이드로퓨란 속에 녹인 후, 티아나프 텐-3-붕소산(0.61 g, 3.42 mmol)과 테트라키스(트리페닐포스핀)팔라듐(79 mg, 0.068 mmol)을 넣고 교반시켰다. 포화 탄산칼륨 수용액(14.2 g, 103 mmol)을 넣고 2일 동안 가열하여 환류시켰다. 반응 완료 후 반응액에 물을 넣고 디클로로메탄으로 추출한 다음 무수 MgSO_4 로 수분을 제거한 후, 거르고 감압 농축하였다. 얻어진 잔류물을 속성 컬럼 크로마토그래피로 분리 정제하여, 상기 반응식 3의 화합물 4(0.79 g, 2.29 mmol, 67 %)를 얻었다. 화 합물 4의 $^1\text{H-NMR}$ 분석 결과는 다음과 같다.

[0034] $^1\text{H-NMR}$ (300 MHz, CDCl_3) : δ 7.96~7.90(m, 3H), 7.87(d, J = 7.50 Hz, 1H), 7.78(s, 1H), 7.53~7.42(m, 4H).

반응식 4



[0035]

[0036] 이어서 화합물 4(0.79 g, 2.29 mmol)를 상온에서 10 mL의 THF에 녹인 후, 티아나프텐-2-붕소산(0.45 g, 2.52 mmol)과 테트라키스(트리페닐포스핀)팔라듐(53 mg, 0.046 mmol)을 넣고 교반시켰다. 탄산칼륨 포화 수용액(9.50 g, 69 mmol)을 넣고 2일 동안 가열하여 반응 혼합물을 환류시켰다. 반응 완료 후 반응액에 물을 넣고 디클로로 메탄으로 추출한 다음 무수 MgSO_4 로 수분을 제거한 후, 거르고 감압 농축하였다. 얻어진 잔류물을 속성 컬럼 크로마토그래피 분리 정제하여, 상기 반응식 4의 화합물 5(0.72 g, 2.11 mmol, 92%)를 얻었다. 상기 화합물 5의 녹는점, $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ 및 질량 분석 결과는 다음과 같다.

[0037] 녹는점: 170 $^\circ\text{C}$

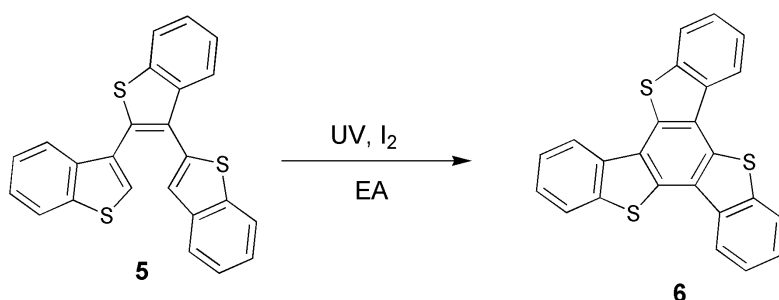
[0038] $^1\text{H-NMR}$ (300 MHz, CDCl_3): δ 7.97~7.93(m, 1H), 7.85~7.81(m, 1H), 7.78~7.73(m, 2H), 7.64~7.60(m, 2H), 7.41(s, 1H), 7.38~7.34(m, 2H), 7.25~7.17(m, 4H), 7.16(s, 1H).

[0039] $^{13}\text{C NMR}$ (75 MHz, CDCl_3) : δ 140.37, 139.73, 139.71, 139.48, 139.17, 138.38, 136.36, 135.27, 128.97, 128.16, 128.06, 125.05, 124.92, 124.66, 124.55, 124.28, 124.17, 123.54, 123.44, 123.04, 122.62, 122.18, 122.07.

[0040] HRMS(70 eV, EI^+): $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{S}_3$ 에 대한 m/z 계산값: 348.0101. 실험값: 348.0109.

[0041] 합성예 4: 화학식 4의 반도체 재료의 합성

반응식 5



[0042]

[0043] 상온에서 상기 반응식 5의 화합물 5(0.4 g, 1.0 mmol)를 아세트산에틸(EA) 400 mL 속에 녹인 후, 요오드(5.0 mg, 0.02 mmol)를 넣고 교반시켰다. 100 W 자외선 램프를 사용해서 5시간 동안 광 반응을 하였다. 반응 완료 후 반응 혼합물을 거르고 감압 농축하였다. 이렇게 하여 얻은 잔류물을 속성 컬럼 크로마토그래피로 분리 정제하여, 상기 반응식 5의 화합물 6(0.36 g, 0.9 mmol, 90 %)을 얻었다. 상기 화합물 6의 녹는점, $^1\text{H-NMR}$ 및 질량 분석 결과는 다음과 같다.

[0044] 녹는점: 220 $^\circ\text{C}$

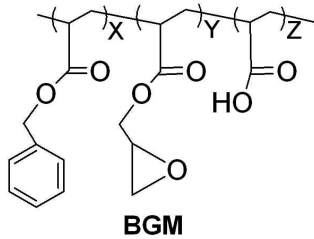
[0045] $^1\text{H NMR}$ (300 MHz, CDCl_3) : δ 8.66(d, J = 7.14 Hz, 3H), 8.10(d, J = 8.07 Hz, 3H), 7.71~7.60(m, 6H).

[0046] HRMS(70 eV, EI^+): 화학식 $C_{24}H_{12}S_3$ 에 대한 m/z 계산값: 396.0101. 실험값: 396.0118.

[0047] 실시예: 유기 박막트랜지스터의 제조와 성능 평가

[0048] 상기 합성에 2에서 제조한 화합물 3과 합성에 4에서 제조한 화합물 6의 유기 반도체 소재를 이용하여 도 2와 같은 구성의 유기 박막트랜지스터를 제조하였다. 기판으로는 실리콘 웨이퍼를 사용하였고, 절연층으로는 하기 화학식 5의 BGM을 합성하여 절연체로 사용하였다. BGM은 메트아크릴산벤질, 메트아크릴산글리시딜과 메트아크릴산의 세 가지 단량체로부터 얻는 고분자 공중합체이다. 금속 전극으로는 금(Au)을 사용하였고, 게이트 폭은 2 mm, 채널 길이는 0.1 mm로 제조하여 특성을 평가하였다.

화학식 5



[0049]

[0050] 이와 같이 하여 제조한 유기 박막트랜지스터의 출력 특성 그래프를 도 3에 나타내었다. 출력 특성에서 중요한 요소는 소스와 드레인 양단간에 흐르는 전류가 특정 전압 이상에서 포화하는 것인데, 트랜지스터는 출력 전압이 변하더라도 출력 전류가 변하지 않고 일정한 값을 내는 전류원 역할을 해야 한다. 도 3에서 상자 안의 기호 표시는 각각 게이트에 인가한 전압(V_G)의 값을 나타낸다. 도 3의 실험은 음의 값으로 게이트 전압을 걸어 주었을 때 음의 값의 출력이 나오는 것을 관찰한 것인데, 이로써 상기 화합물 3과 6의 유기 반도체 재료가 P형 반도체 거동을 나타내는 것을 알 수 있다. 본 발명에 따른 유기 박막트랜지스터는 드레인 소스 전압(V_D)이 일정한 마이너스 값 이하로 내려가더라도 드레인 전류(I_D)가 일정한 수준으로 유지되는 포화 거동을 보여주고 있다. 이러한 거동이 나타나므로 상기 합성에 2에서 제조한 화합물 3(도 3a)과 화합물 6(도 3b)을 이용하여 도 2의 구성으로 제조한 유기 박막트랜지스터는 출력 특성이 우수하다는 것을 확인하였다. 도 3의 그래프에서 드레인 전류의 포화 영역이 시작되는 드레인 전압의 문턱값을 구할 수 있고, 이로부터 이동도를 구할 수 있는데, 상기 도 3a의 그래프로부터 화합물 3 기반 트랜지스터(C-2BBT)의 문턱 드레인 전압을 -20 V로, 도 3b로부터 화합물 6 기반 트랜지스터(C-3BT)의 문턱 드레인 전압을 -20 V로 정하였다.

[0051] 이어서 도 3과 같은 유기 박막 트랜지스터의 전달 특성을 측정하여 그 그래프를 도 4에 도시하였다. 전달 특성은 게이트 전압이 채널에 전하를 얼마나 효과적으로 형성하는지의 척도로서, 게이트 전압의 작은 변화에도 전하량의 변화가 커서 출력 전류가 크게 변화하면 우수한 성능을 가진 것으로 본다. 도 4에서 상자 안의 기호 표시는 각각의 드레인 전압(V_D)값을 나타낸다. 도 4는 각각 화합물 3(도 4a) 또는 화합물 6(도 4b) 기반 유기 박막 트랜지스터에 대하여 게이트 전압(V_G)과 드레인 전류의 절대값을 로그 척도로 나타낸 그래프와, 드레인 전류 절대값의 제곱근과 게이트 전압 사이의 관계를 나타낸 그래프를 보여 준다. 로그 척도 그래프로부터 본 발명에 따른 유기 박막 트랜지스터의 출력 전류 특성이 매우 민감하다는 것을 볼 수 있다.

[0052] 도 4에 나타낸 데이터로부터 전류 점별비 I_{on}/I_{off} 와 이동도를 구하였다. 그리고 이 값을 종래 기술에 따른 펜타센 유기 박막 트랜지스터와 비교하였다. 이 종래 기술의 트랜지스터는 펜타센을 유기 반도체 재료로 한 것 외에는 실시예와 동일하게 제조하였다. 양 트랜지스터의 전류 점별비와 이동도는 표 1에 나타내었다.

표 1

[0053]

	I_{on}/I_{off} 전류 점별비 ($V_D = -20V$)	이동도($cm^2/V \cdot sec$) ($V_D = -20V$)
화합물 3 기반 트랜지스터 (C-2BBT)	1.2×10^6	0.79

화합물 6 기반 트랜지스터 (C-3BT)	1.8×10^5	0.052
펜타센 기반 트랜지스터	5.5×10^4	0.068

[0054] 이동도와 점멸비 데이터는 본 발명의 화합물을 반도체 재료로 사용하였을 때 펜타센을 반도체 재료로 이용했을 때 보다 전류 점멸비가 약 22배까지, 이동도는 약 12배까지 나아진다는 것을 보여준다. 이러한 결과는 본 발명의 화합물을 유기 박막트랜지스터용 재료로 유용하게 사용할 수 있다는 점을 확인해 준다.

도면의 간단한 설명

[0055] 도 1은 유기 반도체 물질을 활성 재료로 가지고 있는 통상적인 유기 박막트랜지스터의 단면을 나타낸 모식도이다.

[0056] 도 2는 본 발명의 한 실시 태양에 따른 유기 박막트랜지스터의 단면 구조를 나타낸 모식도이다. 본 발명의 유기 반도체 재료는 도 2에서 반도체층으로 쓰인다.

[0057] 도 3은 본 발명 실시예의 화합물 3(3a)과 화합물 6(3b)을 반도체 재료로 하여 제조한 유기 박막트랜지스터의 드레인 전압(V_D)과 드레인 전류(I_D) 사이의 관계를 나타낸 출력 특성 그래프이다. 상자 안의 기호 표시는 해당 측정시 인가한 게이트 전압을 나타낸다.

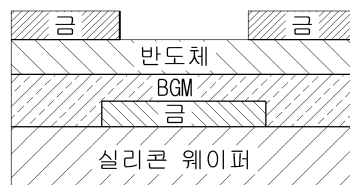
[0058] 도 4는 상기 화합물 3(3a)과 화합물 6(3b) 기반 유기 박막트랜지스터에 대하여 게이트 전압(V_G)과 드레인 전류(I_D) 사이의 관계를 나타낸 전달 특성 그래프이다. 상단의 두 그래프에서 세로 좌표는 드레인 전류(단위 암페어)의 절대값을 로그 척도로 나타낸 것이고, 하단의 그래프에서는 드레인 전류(암페어) 절대값의 제곱근을 나타낸 것이다. 상자 안의 기호 표시는 해당 측정시 인가한 드레인 전압을 나타낸다.

도면

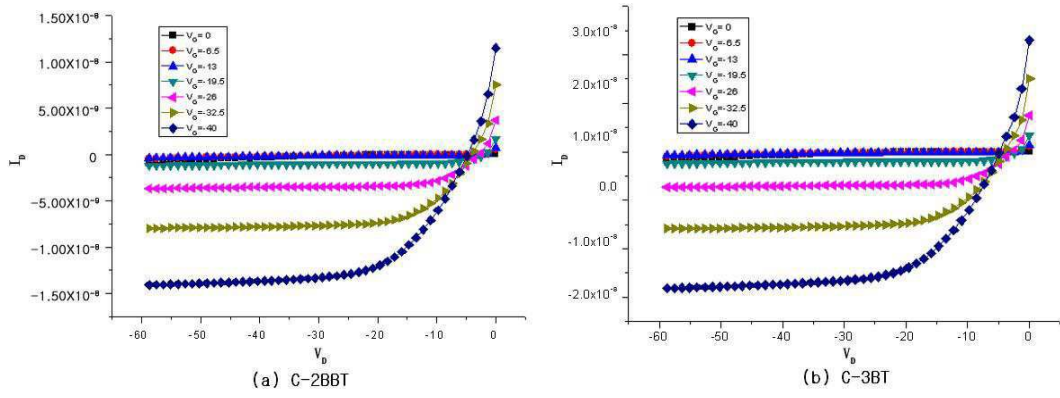
도면1



도면2



도면3



도면4

