(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7668471号
(P7668471)

(45)発行日　令和7年4月25日(2025.4.25)

(24)登録日　令和7年4月17日(2025.4.17)

(51)国際特許分類

		FI		
C07C 15/20 (2006.01)		C07C	15/20	CSP
C07D 333/50 (2006.01)		C07D	333/50	
C07D 495/04 (2006.01)		C07D	495/04	101
H10D 30/67 (2025.01)		H10D	30/67	103
H10K 10/46 (2023.01)		H10K	10/46	

請求項の数　6　（全32頁）

(21)出願番号　特願2023-539690(P2023-539690)
(86)(22)出願日　令和4年6月22日(2022.6.22)
(86)国際出願番号　PCT/JP2022/024968
(87)国際公開番号　WO2023/013273
(87)国際公開日　令和5年2月9日(2023.2.9)
審査請求日　令和5年11月20日(2023.11.20)
(31)優先権主張番号　特願2021-128935(P2021-128935)
(32)優先日　令和3年8月5日(2021.8.5)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

(73)特許権者　314012076
パナソニックＩＰマネジメント株式会社
大阪府門真市元町２２番６号
(74)代理人　110004314
弁理士法人青藍国際特許事務所
(74)代理人　100107641
弁理士　鎌田 耕一
(74)代理人　100168273
弁理士　古田 昌稔
(74)代理人　100214639
弁理士　森本 圭亮
(72)発明者　安藤 達人
大阪府門真市大字門真１００６番地 パナソニックインダストリー株式会社内
(72)発明者　林 敬祐

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　縮合環化合物、半導体材料および電子デバイス

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

複数の単環式芳香族環を含む縮合環を有し、

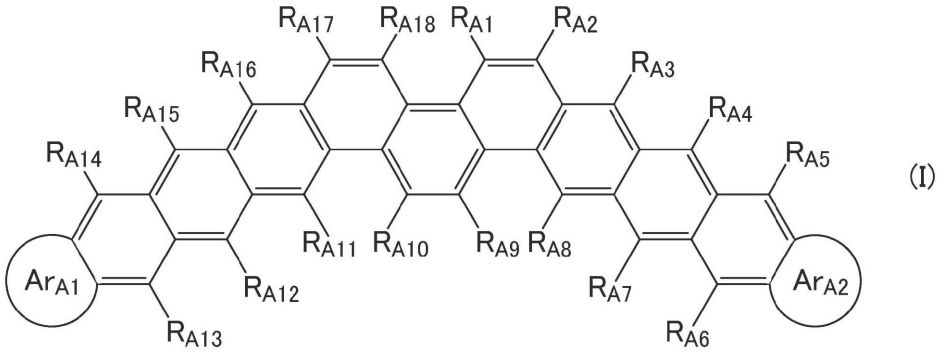
前記縮合環において、前記単環式芳香族環の数が１１であり、

１１つの前記単環式芳香族環のうち、チオフェン環の数が２以下であり、

前記縮合環は、２つのナフタセン構造を含み、

下記式（Ｉ）で表される、縮合環化合物。

【化１】



(I)

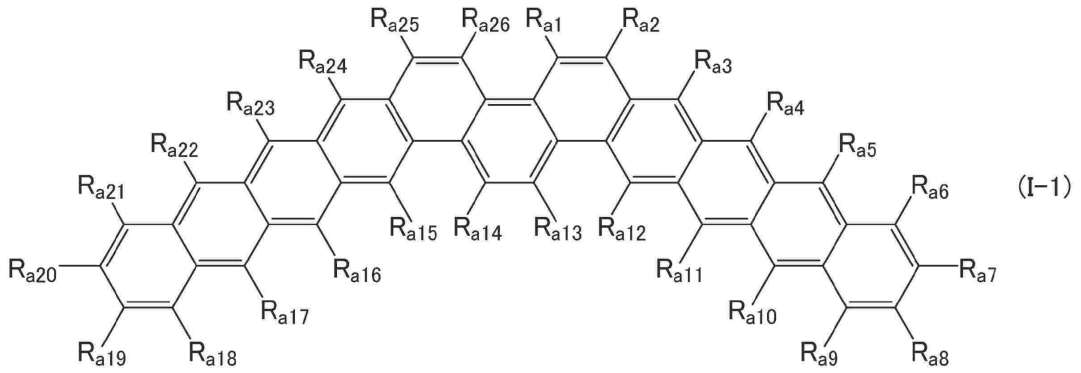
前記式（Ｉ）において、R_{A1}からR_{A18}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素

基であり、Ar_{A1}およびAr_{A2}は、それぞれ独立して、置換基を有していてもよいベンゼン環または置換基を有していてもよいチオフェン環である。

【請求項２】

下記式（Ｉ－１）、下記式（Ｉ－２）、下記式（Ｉ－３）、下記式（Ｉ－４）または下記式（Ｉ－５）で表される、請求項１に記載の縮合環化合物。

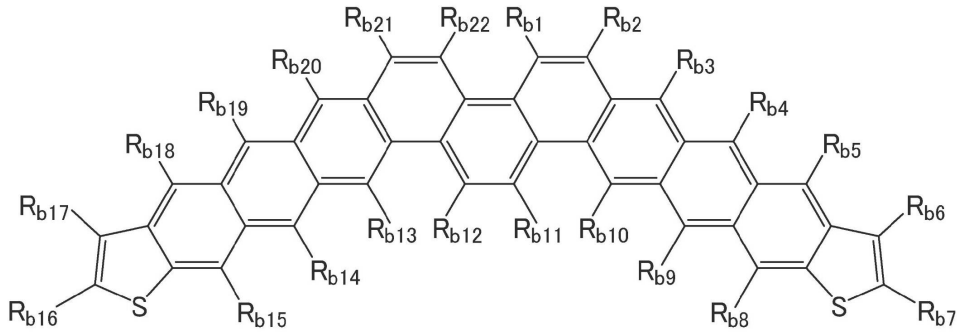
【化２】



(I-1)

前記式（Ｉ－１）において、R_{a1}からR_{a26}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

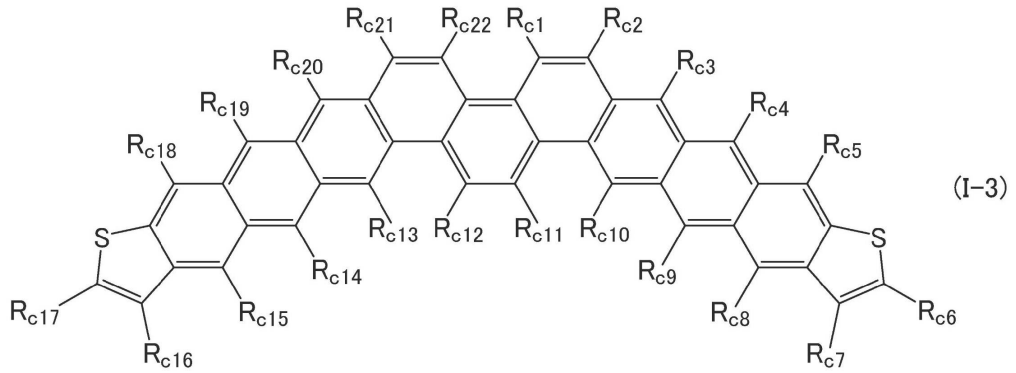
【化３】



(I-2)

前記式（Ｉ－２）において、R_{b1}からR_{b22}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

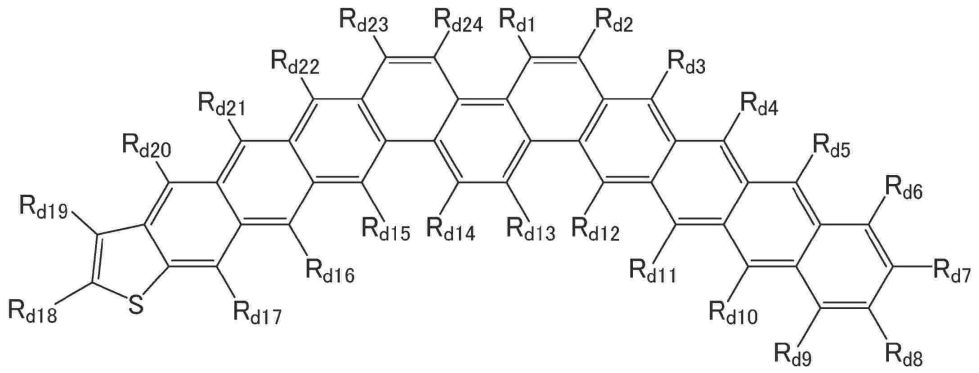
【化４】



(I-3)

前記式（Ｉ－３）において、R_{c1}からR_{c22}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

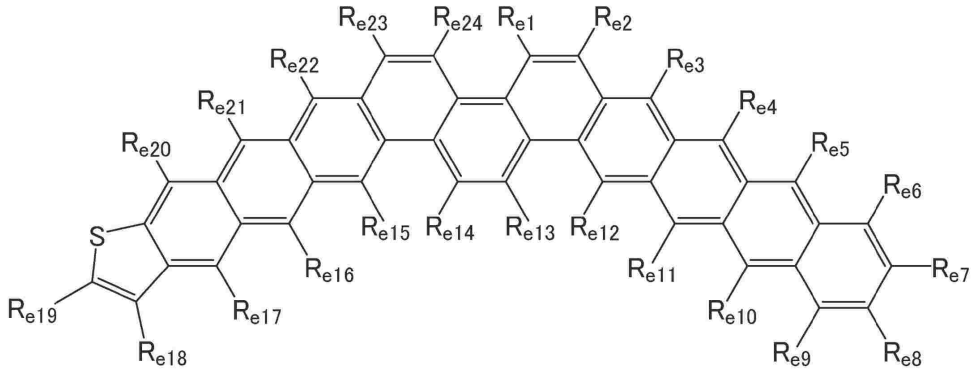
【化５】



(I-4)

前記式（Ｉ－４）において、R_{d1}からR_{d24}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

【化６】



(I-5)

前記式（Ｉ－５）において、R_{e1}からR_{e24}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

【請求項３】

前記縮合環がC_{2V}の対称性を有する、請求項１に記載の縮合環化合物。

【請求項４】

請求項１から３のいずれか１項に記載の縮合環化合物を含む、半導体材料。

【請求項５】

請求項４に記載の半導体材料を含む、電子デバイス。

【請求項６】

ソース電極と、
ドレイン電極と、
ゲート電極と、
請求項４に記載の半導体材料を含む半導体膜と、
を備えた、電子デバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は、縮合環化合物、半導体材料および電子デバイスに関する。

【背景技術】

【０００２】

近年、有機材料から形成された半導体膜を用いた電子デバイスが数多く提案され、その研究開発が盛んに行われている。電子デバイスとしては、例えば、薄膜トランジスタ（ＴＦＴ：thin film transistor）が挙げられる。本開示では、半導体膜を半導体層と呼ぶことがある。半導体層に有機材料を用いることによって様々な利点が得られる。例えば、無

機アモルファスシリコンなどの無機材料をベースに用いた従来の無機薄膜トランジスタでは、その作製時に、３５０℃から４００℃程度の温度での加熱プロセスが必要である。一方、有機ＴＦＴは、５０℃から２００℃程度の低温での加熱プロセスによって製造することが可能である。そのため、有機ＴＦＴによれば、プラスチックフィルムなどの耐熱性が低い下地の上に、素子を作製することが可能である。さらに、有機材料を用いた場合、スピンコート法、インクジェット法、印刷法などの簡便な方法を用いて半導体層を形成できる利点もある。これらの方法によれば、低いコストで大きい面積を有するデバイスの製造が可能である。

【０００３】

ＴＦＴの性能を判断するために用いられる指標の一つとして、半導体層のキャリア移動度が挙げられる。有機ＴＦＴにおける有機半導体層のキャリア移動度を向上させるために、多くの研究が行われている。例えば、特許文献１から４などでは、有機半導体層を形成するための有機材料に主眼を置いた研究が行われている。詳細には、特許文献１から３には、２つのチオフェン環と２つから７つの他の単環式芳香族環とが縮合した構造を有する縮環チオフェン分子が開示されている。特許文献４には、４つのチオフェン環と４つから９つの他の単環式芳香族環とが縮合した構造を有する縮環チオフェン分子が開示されている。良好な特性を有する有機半導体および有機半導体膜によれば、電子デバイスの性能を向上させることができる。そのため、有機半導体および有機半導体膜の特性をさらに向上させるための研究が必要とされている。

【０００４】

ｐ型有機半導体材料として機能する縮環チオフェン分子としては、ベンゾチエノ－ベンゾチオフェン（ＢＴＢＴ）、ジナフトチエノチオフェン（ＤＮＴＴ）などが挙げられる。これらの縮環チオフェン分子は、比較的大きいキャリア移動度を示す材料として知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【文献】国際公開第２０１７／１５０４７４号

【文献】国際公開第２０１６／１５２８８９号

【文献】特許第６３１８４５２号公報

【文献】欧州特許出願公開第３０５０８８７号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

半導体材料に適した新たな縮合環化合物が求められている。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本開示の一態様における縮合環化合物は、

複数の単環式芳香族環を含む縮合環を有し、

前記縮合環において、前記単環式芳香族環の数が１１であり、

１１つの前記単環式芳香族環のうち、チオフェン環の数が２以下であり、

前記縮合環は、２つのナフタセン構造を含む。

【発明の効果】

【０００８】

本開示は、半導体材料に適した新たな縮合環化合物を提供する。

【図面の簡単な説明】

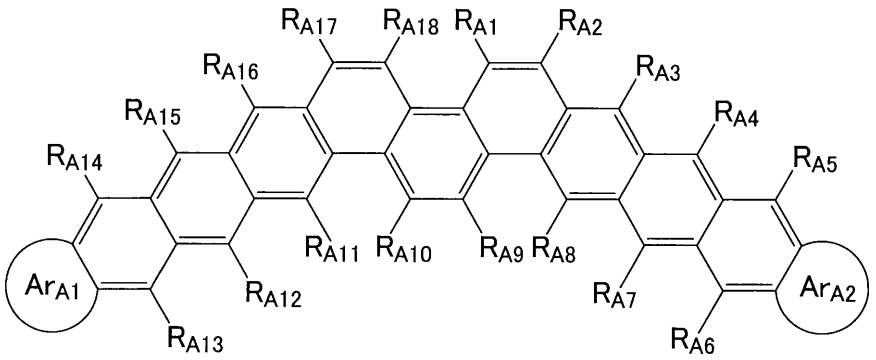
【０００９】

【図１】図１は、本開示の縮合環化合物を用いた電子デバイスの一例を示す構造模式図である。

【図２】図２は、本開示の縮合環化合物を用いた電子デバイスの別の例を示す構造模式図

である。
【発明を実施するための形態】
【００１０】
（本開示の基礎となった知見）
本発明者らの検討によれば、従来の縮環チオフェン分子のキャリア移動度は、十分に大きいとは言えない。そのため、従来の縮環チオフェン分子を用いて、動作速度が十分に大きい電子デバイスを得ることは難しい。一例として、ＢＴＢＴ、ＤＮＴＴなどの縮環チオフェン分子の正孔移動度は、大きくても５から１０ｃｍ^2／Ｖｓ程度である。この程度の正孔移動度を有する縮環チオフェン分子を用いた場合、１０μｍのゲート長を有する素子では、１ＭＨｚ程度の動作速度しか得られない。さらに、ゲート長を約１μｍに調整した素子を用いた場合であっても、１０ＭＨｚ程度の動作速度しか得られない。なお、約１μｍのゲート長は、塗布法を用いて達成可能なゲート長の下限値に相当する。このため、１００ＭＨｚ程度の動作速度が必要とされるＲＦ－ＩＤ（Radio Frequency Identifications）の分野では、より大きいキャリア移動度を有する有機半導体材料が求められている。
【００１１】
キャリア移動度に大きく寄与する物理量として、再配向エネルギーが知られている。再配向エネルギーは、単分子の元素配置、および単分子の立体形状に依存する物理量である。詳細には、再配向エネルギーは、複数の分子間でキャリアがホッピング伝導したときの分子の構造変形に伴うエネルギーの変化量を表す。再配向エネルギーが小さければ小さいほど、半導体材料のキャリア移動度が向上する傾向がある。キャリア移動度が向上した半導体材料によって、大きい動作速度を有する電子デバイスを実現することができる。
【００１２】
本発明者らは、鋭意検討した結果、特定の縮合環を有する化合物において、再配向エネルギーが十分に小さい傾向があることを新たに見出し、本開示の縮合環化合物を完成するに至った。
【００１３】
（本開示に係る一態様の概要）
本開示の第１態様にかかる縮合環化合物は、
複数の単環式芳香族環を含む縮合環を有し、
前記縮合環において、前記単環式芳香族環の数が１１であり、
１１つの前記単環式芳香族環のうち、チオフェン環の数が２以下であり、
前記縮合環は、２つのナフタセン構造を含む。
【００１４】
第１態様によれば、縮合環化合物について、再配向エネルギーが十分に小さく、キャリア移動度が大きい傾向がある。この縮合環化合物は、半導体材料に適していると言える。
【００１５】
本開示の第２態様において、例えば、第１態様にかかる縮合環化合物では、１１つの前記単環式芳香族環は、それぞれ独立して、ベンゼン環またはチオフェン環であってもよい。
【００１６】
本開示の第３態様において、例えば、第１または第２態様にかかる縮合環化合物では、前記縮合環が線構造を有していてもよい。
【００１７】
本開示の第４態様において、例えば、第１から第３態様のいずれか１つにかかる縮合環化合物は、下記式（Ｉ）で表されてもよい。

【化１】



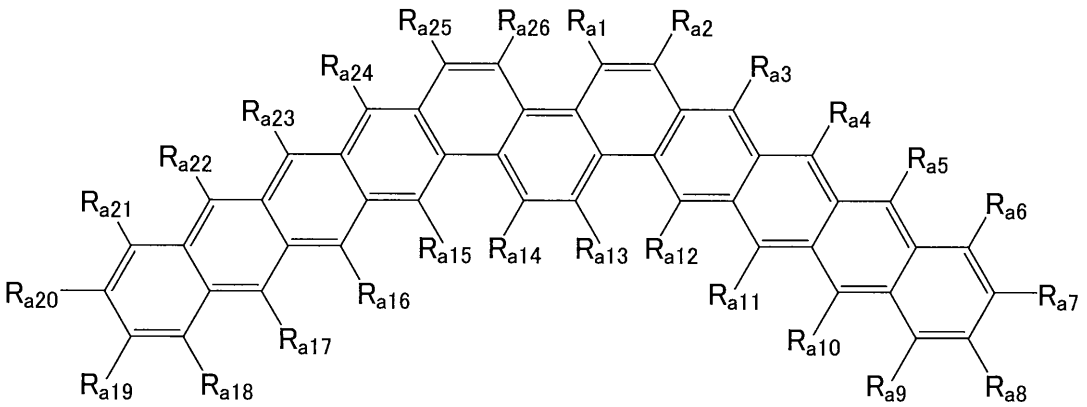
(I)

前記式（Ｉ）において、R_{A1}からR_{A18}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基であり、Ar_{A1}およびAr_{A2}は、それぞれ独立して、置換基を有していてもよいベンゼン環または置換基を有していてもよいチオフェン環である。

【００１８】

本開示の第５態様において、例えば、第１から第４態様のいずれか１つにかかる縮合環化合物は、下記式（Ｉ－１）、下記式（Ｉ－２）、下記式（Ｉ－３）、下記式（Ｉ－４）または下記式（Ｉ－５）で表されてもよい。

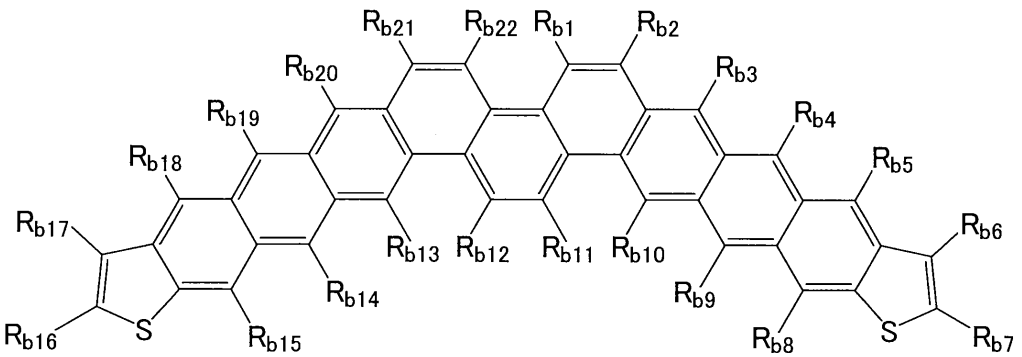
【化２】



(I-1)

前記式（Ｉ－１）において、R_{a1}からR_{a26}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

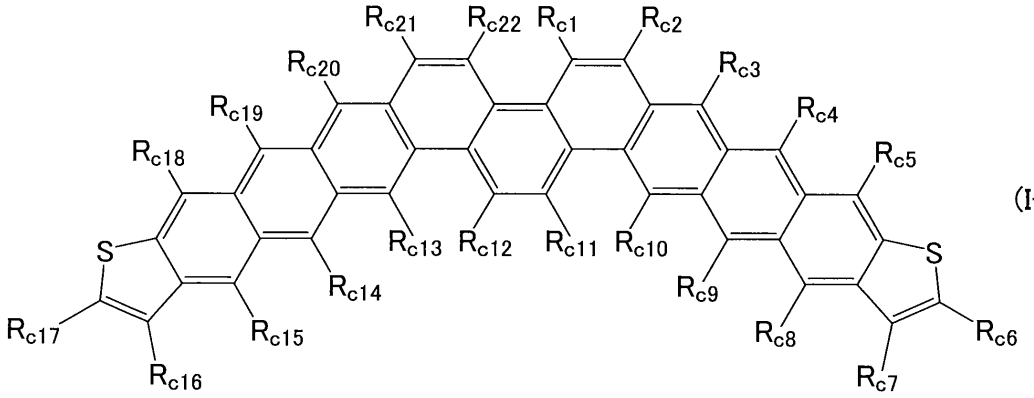
【化３】



(I-2)

前記式（Ｉ－２）において、R_{b1}からR_{b22}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

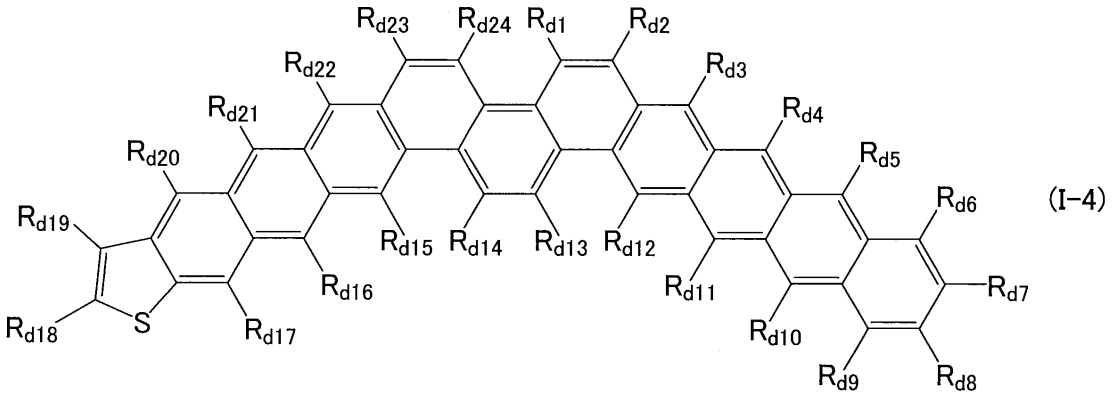
【化４】



(I-3)

前記式（Ｉ－３）において、R_{c1}からR_{c22}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

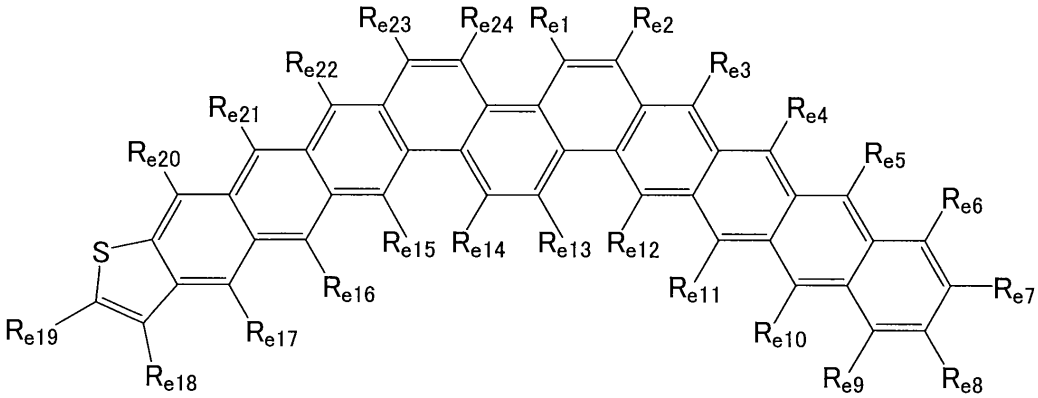
【化５】



(I-4)

前記式（Ｉ－４）において、R_{d1}からR_{d24}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

【化６】



(I-5)

前記式（Ｉ－５）において、R_{e1}からR_{e24}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。

【００１９】

第２から第５態様にかかる縮合環化合物は、半導体材料に適している。

【００２０】
本開示の第６態様において、例えば、第１から第５態様のいずれか１つにかかる縮合環化合物では、前記縮合環がC_{2V}の対称性を有していてもよい。
【００２１】
第６態様にかかる縮合環化合物は、容易に合成できる傾向がある。
【００２２】
本開示の第７態様にかかる半導体材料は、
第１から第６態様のいずれか１つにかかる縮合環化合物を含む。
【００２３】
第７態様によれば、半導体材料のキャリア移動度が大きい傾向がある。
【００２４】
本開示の第８態様にかかる電子デバイスは、
第７態様にかかる半導体材料を含む。
【００２５】
第８態様によれば、電子デバイスの動作速度が大きい傾向がある。
【００２６】
本開示の第９態様にかかる電子デバイスは、
ソース電極と、
ドレイン電極と、
ゲート電極と、
第７態様にかかる半導体材料を含む半導体膜と、
を備える。
【００２７】
第９態様によれば、電子デバイスの動作速度が大きい傾向がある。
【００２８】
以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら説明する。本開示は、以下の実施形態に限定されない。
【００２９】
（縮合環化合物の実施形態）
本実施形態の縮合環化合物Ｃは、複数の単環式芳香族環Ｍを含む縮合環Ｆを有する。縮合環Ｆにおいて、単環式芳香族環Ｍの数が１１である。１１つの単環式芳香族環Ｍのうち、チオフェン環の数が２以下である。縮合環Ｆは、２つのナフタセン構造を含む。
【００３０】
単環式芳香族環Ｍは、芳香族性を有する１つの環構造を意味する。本開示では、単環式芳香族環Ｍを単に「芳香族環Ｍ」と呼ぶことがある。芳香族環Ｍは、典型的には炭素原子を含む。芳香族環Ｍは、炭素原子のみから構成されていてもよく、炭素原子とともに、硫黄原子などのヘテロ原子を含んでいてもよい。芳香族環Ｍの炭素数は、特に限定されず、４以上１０以下である。芳香族環Ｍの具体例としては、ベンゼン環およびチオフェン環が挙げられる。
【００３１】
１１つの芳香族環Ｍは、それぞれ独立して、ベンゼン環またはチオフェン環であってもよい。一例として、縮合環Ｆは、１１つのベンゼン環から構成されていてもよく、１つのチオフェン環と１０つのベンゼン環とから構成されていてもよく、２つのチオフェン環と９つのベンゼン環とから構成されていてもよい。
【００３２】
本実施形態では、縮合環Ｆに含まれるチオフェン環の数が２以下であることによって、縮合環化合物Ｃが十分に大きいキャリア移動度を有する傾向がある。さらに、縮合環Ｆに含まれるチオフェン環の数が２以下であり、かつ、縮合環Ｆを構成する芳香族環Ｍの数が１１であることによって、縮合環化合物Ｃが十分に大きいキャリア移動度を有する傾向がある。後述のとおり、縮合環化合物Ｃは、典型的には、ｐ型半導体材料として用いること

ができる。そのため、本開示では、縮合環化合物Ｃについて、キャリア移動度を正孔移動度と呼ぶことがある。

【００３３】

縮合環Ｆでは、１１つの芳香族環Ｍが縮合している。本開示において、「芳香族環Ｍが縮合している」とは、隣接する２つの芳香族環Ｍが、２つの炭素原子と、これらの炭素原子の間に形成された共有結合とを共有していることを意味する。

【００３４】

縮合環Ｆは、例えば、線構造を有する。本開示において、「縮合環Ｆが線構造を有する」とは、縮合環Ｆにおいて、１１つの芳香族環Ｍが分岐せずに１本の線状に並んでいることを意味する。すなわち、縮合環Ｆを構成する全ての芳香族環Ｍのそれぞれが、隣接する１つまたは２つの芳香族環Ｍのみと縮合している。線構造を有する縮合環Ｆには、隣接する３つ以上の芳香族環Ｍと縮合している芳香族環Ｍが存在しない。仮に、隣接する３つ以上の芳香族環Ｍと縮合している芳香族環Ｍが１つでも存在する場合、その縮合環Ｆは、線構造を有しておらず、分岐構造を有しているとみなすことができる。

【００３５】

線構造を有する縮合環Ｆにおいて、１１つの芳香族環Ｍは、直線状に並んでいなくてもよい。例えば、縮合環Ｆは、屈曲構造を有していてもよい。本開示において、「縮合環Ｆが屈曲構造を有する」とは、縮合環Ｆにおいて、一部の芳香族環Ｍが折れ曲がるように並んでいることを意味する。

【００３６】

線構造を有する縮合環Ｆにおいて、末端に存在する２つの芳香族環Ｍは、それぞれ、隣接する１つの芳香族環Ｍのみと縮合している。末端に存在する２つの芳香族環Ｍは、それぞれ独立して、ベンゼン環またはチオフェン環であってもよい。末端に存在する芳香族環Ｍがチオフェン環である場合、当該チオフェン環は、二位の炭素原子と三位の炭素原子とを共有するように隣接する１つの芳香族環Ｍと縮合していてもよく、四位の炭素原子と五位の炭素原子とを共有するように隣接する１つの芳香族環Ｍと縮合していてもよい。通常、チオフェン環における一位の原子は、硫黄原子である。

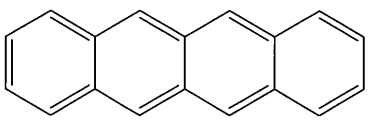
【００３７】

線構造を有する縮合環Ｆにおいて、末端に存在する２つの芳香族環Ｍ以外の他の芳香族環Ｍは、それぞれ、隣接する２つの芳香族環Ｍと縮合している。他の芳香族環Ｍがベンゼン環である場合、当該ベンゼン環は、一位の炭素原子と二位の炭素原子とを共有するように隣接する一方の芳香族環Ｍと縮合しているとともに、三位の炭素原子と四位の炭素原子とを共有するように隣接する他方の芳香族環Ｍと縮合していてもよく、四位の炭素原子と五位の炭素原子とを共有するように隣接する他方の芳香族環Ｍと縮合していてもよく、五位の炭素原子と六位の炭素原子とを共有するように隣接する他方の芳香族環Ｍと縮合していてもよい。

【００３８】

上述のとおり、縮合環Ｆは、２つのナフタセン構造を含む。ナフタセン構造は、下記式（１）で表される。なお、縮合環Ｆの２つのナフタセン構造において、ナフタセン構造を構成するベンゼン環は、互いに重複しない。

【化７】



(1)

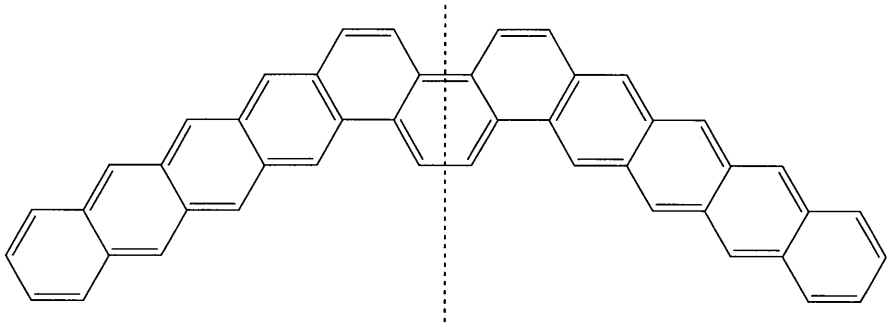
【００３９】

本実施形態では、縮合環Ｆが２つのナフタセン構造を有することによって、縮合環化合物Ｃが十分に大きいキャリア移動度を有する傾向がある。

【００４０】

縮合環Ｆは、対称性を有していてもよく、対称性を有していなくてもよい。縮合環化合物Ｃを容易に合成でき、製造コストを低減できるとともに、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上できる観点から、縮合環Ｆは、C_{2V}の対称性を有していてもよい。「縮合環ＦがC_{2V}の対称性を有する」とは、縮合環Ｆが、２回の回転対称軸を有するとともに、当該回転対称軸に平行な鏡映面を有することを意味する。本開示では、回転対称軸を縮合環Ｆの主軸と呼ぶことがある。C_{2V}の対称性を有する縮合環Ｆとしては、例えば、下記式（２）で表される構造が挙げられる。式（２）において、破線が回転対称軸を示している。回転対称軸の位置において、紙面に垂直な方向に鏡映面が延びている。

【化８】



(2)

【００４１】

縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆには、水素原子または置換基が接続している。縮合環Ｆに接続された置換基は、特に限定されない。この置換基は、例えば、ヘテロ原子を含まない。置換基の具体例は、炭化水素基である。炭化水素基の炭素数は、特に限定されず、例えば１以上２０以下である。炭化水素基は、直鎖状であってもよく、分岐鎖状であってもよく、環状であってもよい。炭化水素基としては、アルキル基、アリール基などが挙げられる。

【００４２】

アルキル基の炭素数は、１以上２０以下であってもよく、１以上１０以下であってもよく、３以上８以下であってもよい。アルキル基としては、メチル基、エチル基（Ｅｔ）、ｎ－プロピル基、イソプロピル基、ｎ－ブチル基、イソブチル基（ｉ－Ｂｉ）、ｓｅｃ－ブチル基、ｔｅｒｔ－ブチル基、ペンチル基、ヘキシル基、ヘプチル基、オクチル基、ノニル基、デシル基などが挙げられる。

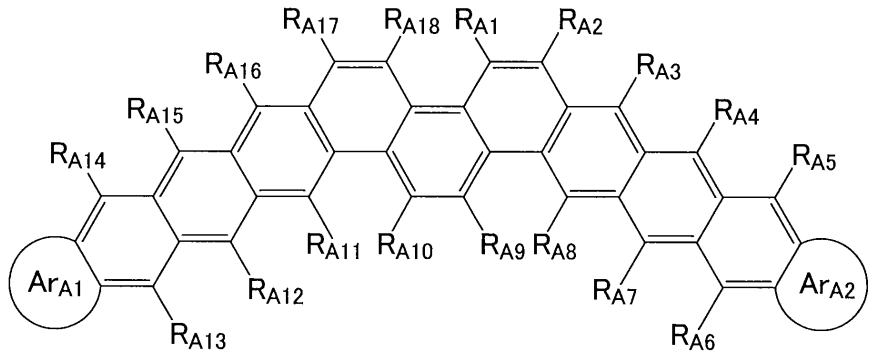
【００４３】

アリール基の炭素数は、６以上１８以下であってもよく、６以上１２以下であってもよい。アリール基としては、フェニル基（Ｐｈ）、ナフチル基、４－ビフェニル基、３－ビフェニル基、２－ビフェニル基などが挙げられる。

【００４４】

縮合環化合物Ｃは、例えば、下記式（Ｉ）で表される。式（Ｉ）で表される縮合環化合物Ｃは、後述する式（ＩＩ）で表される縮合環化合物Ｃと比べて、小さい再配向エネルギーを有する傾向がある。

【化９】



(I)

【００４５】

式（Ｉ）において、R_{A1}からR_{A18}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。

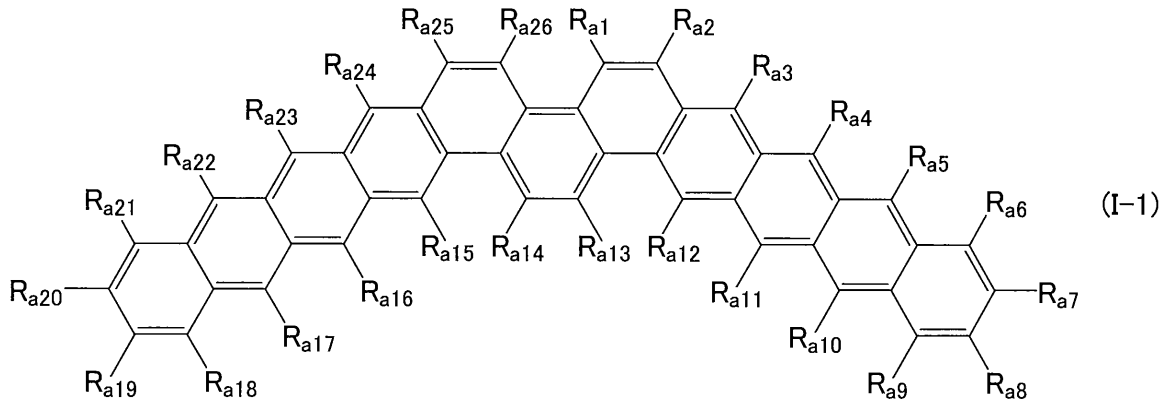
【００４６】

式（Ｉ）において、Ar_{A1}およびAr_{A2}は、それぞれ独立して、置換基を有していてもよいベンゼン環または置換基を有していてもよいチオフェン環である。ベンゼン環およびチオフェン環の置換基の具体例は、炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。

【００４７】

縮合環化合物Ｃは、下記式（Ｉ－１）で表されてもよい。

【化１０】



(I-1)

【００４８】

式（Ｉ－１）において、R_{a1}からR_{a26}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－１）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮合多環炭化水素である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、C_{2V}の対称性を有している。

【００４９】

有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、R_{a1}からR_{a26}から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよい。R_{a1}からR_{a26}は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－１）におけるR_{a1}からR_{a26}の組み合わせの具体例を下記の表１に示す。表１において、化合物の項目は、特定のR_{a1}からR_{a26}を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。

【００５０】

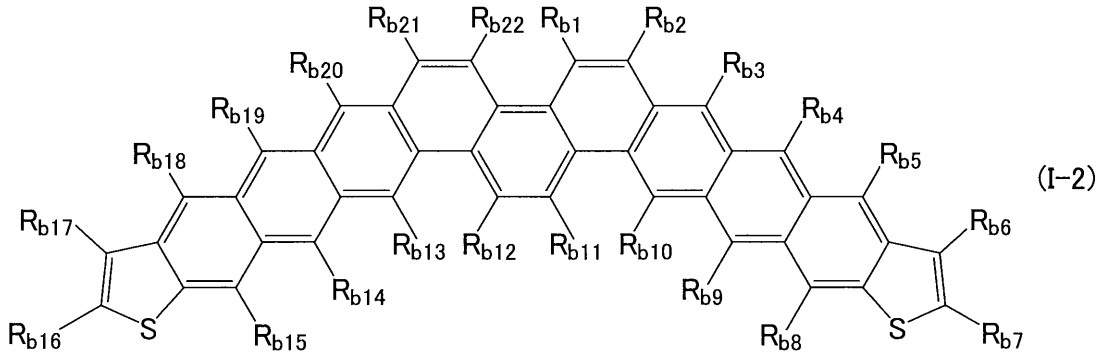
【表１】

化合物	R_{a1}	R_{a2} から R_{a6}	R_{a7}	R_{a8}	R_{a9}	R_{a10}	R_{a11}	R_{a12} から R_{a18}	R_{a19}	R_{a20}	R_{a21} から R_{a26}
i-1	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
i-2	Ph	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
i-3	H	H	Ph	H	H	H	H	H	H	H	H
i-4	H	H	H	4-ビフェニル基	H	H	H	H	H	H	H
i-5	H	H	H	H	Et	H	H	H	H	H	H
i-6	H	H	H	H	H	H	Et	H	H	H	H
i-7	H	H	i-Bi	H	H	H	H	H	H	H	H
i-8	H	H	Ph	H	H	H	H	H	H	Ph	H
i-9	H	H	H	Et	H	H	H	H	Et	H	H

【００５１】

縮合環化合物Ｃは、下記式（Ｉ－２）で表されてもよい。

【化１１】



(I-2)

【００５２】

式（Ｉ－２）において、R_{b1}からR_{b22}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－２）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮環チオフェン分子である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、C_{2V}の対称性を有している。

【００５３】

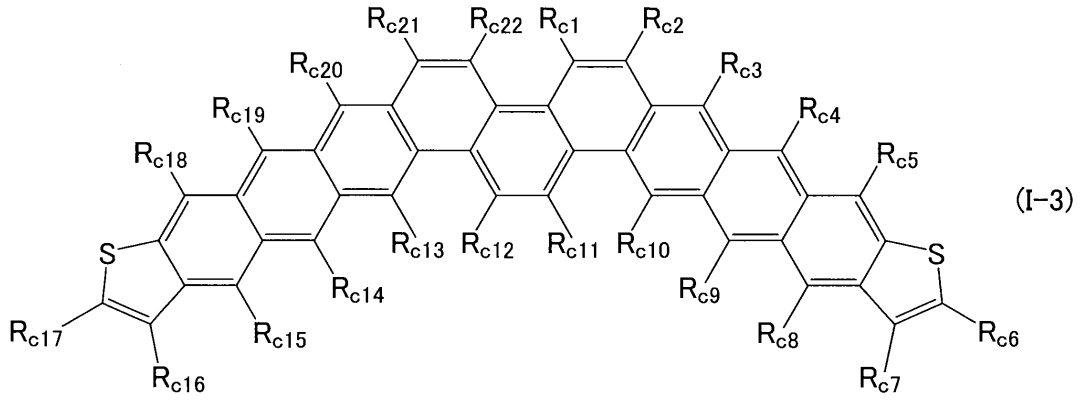
有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、R_{b1}からR_{b22}から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよい。R_{b1}からR_{b22}は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－２）におけるR_{b1}からR_{b22}の組み合わせの具体例を下記の表２に示す。表２において、化合物の項目は、特定のR_{b1}からR_{b22}を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。

【００５４】

【表２】

化合物	R_{b1} から R_{b5}	R_{b6}	R_{b7}	R_{b8} から R_{b15}	R_{b16}	R_{b17}	R_{b18} から R_{b22}
ii-1	H	H	H	H	H	H	H
ii-2	H	Et	H	H	H	Et	H
ii-3	H	H	Ph	H	Ph	H	H

【００５５】
縮合環化合物Ｃは、下記式（Ｉ－３）で表されてもよい。
【化１２】

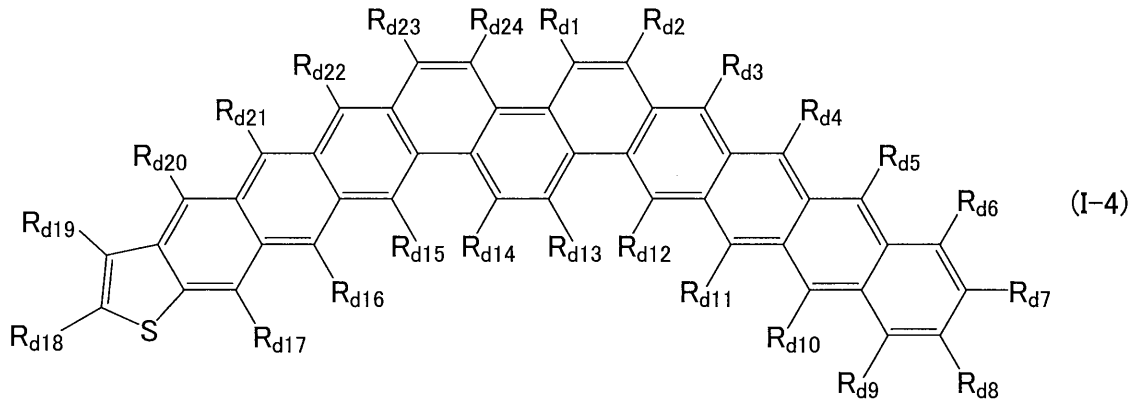


(I-3)

【００５６】
式（Ｉ－３）において、R_{c1}からR_{c22}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－３）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮環チオフェン分子である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、C_{2V}の対称性を有している。
【００５７】
有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、R_{c1}からR_{c22}から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよく、アルキル基であってもよい。R_{c1}からR_{c22}は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－３）におけるR_{c1}からR_{c22}の組み合わせの具体例を下記の表３に示す。表３において、化合物の項目は、特定のR_{c1}からR_{c22}を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。
【００５８】
【表３】

化合物	R_{c1} から R_{c5}	R_{c6}	R_{c7}	R_{c8} から R_{c15}	R_{c16}	R_{c17}	R_{c18} から R_{c22}
iii-1	H	H	H	H	H	H	H
iii-2	H	H	Et	H	Et	H	H
iii-3	H	Ph	H	H	H	Ph	H

【００５９】
縮合環化合物Ｃは、下記式（Ｉ－４）で表されてもよい。
【化１３】



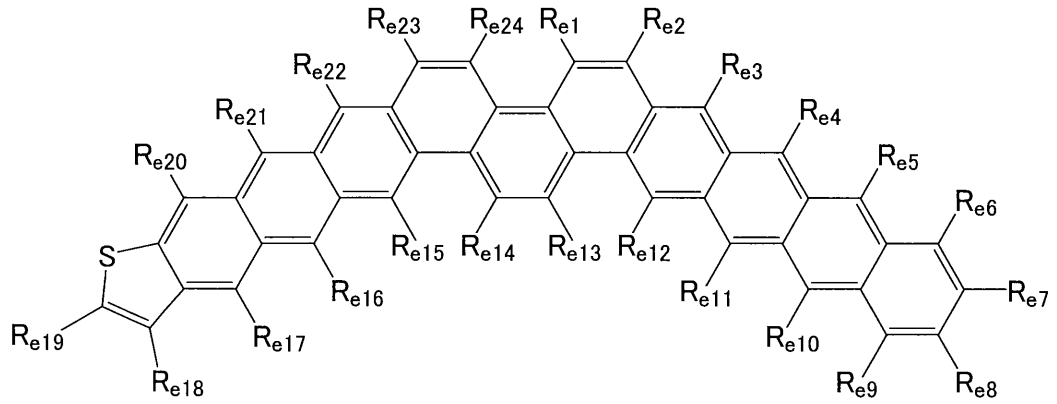
(I-4)

【００６０】
式（Ｉ－４）において、Ｒ$_{d1}$からＲ$_{d24}$は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－４）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮環チオフェン分子である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、対称性を有していない。
【００６１】
有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、Ｒ$_{d1}$からＲ$_{d24}$から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよく、アルキル基であってもよい。Ｒ$_{d1}$からＲ$_{d24}$は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－４）におけるＲ$_{d1}$からＲ$_{d24}$の組み合わせの具体例を下記の表４に示す。表４において、化合物の項目は、特定のＲ$_{d1}$からＲ$_{d24}$を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。
【００６２】
【表４】

化合物	R_{d1} から R_{d24}
iv-1	H

【００６３】
縮合環化合物Ｃは、下記式（Ｉ－５）で表されてもよい。

【化１４】



(I-5)

【００６４】

式（Ｉ－５）において、R_{e1}からR_{e24}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－５）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮環チオフェン分子である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、対称性を有していない。

【００６５】

有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、R_{e1}からR_{e24}から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよく、アルキル基であってもよい。R_{e1}からR_{e24}は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（Ｉ－５）におけるR_{e1}からR_{e24}の組み合わせの具体例を下記の表５に示す。表５において、化合物の項目は、特定のR_{e1}からR_{e24}を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。

【００６６】

【表５】

化合物	R_{e1} から R_{e24}
v-1	H

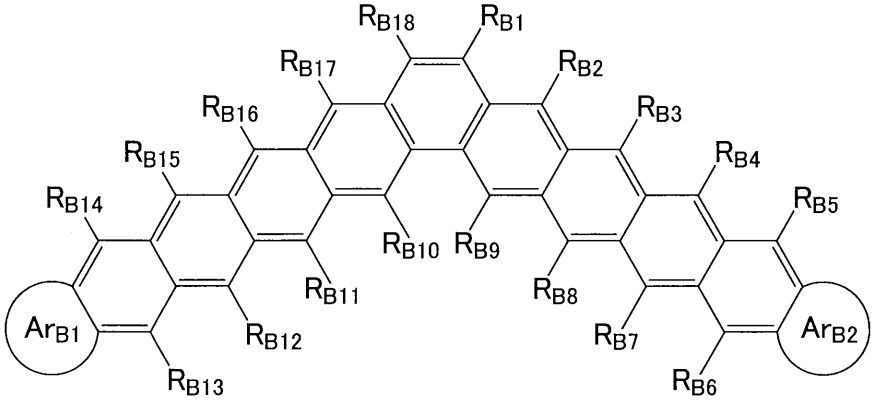
【００６７】

縮合環化合物Ｃは、式（Ｉ－１）、式（Ｉ－２）、式（Ｉ－３）、式（Ｉ－４）または式（Ｉ－５）で表されてもよく、式（Ｉ－１）、式（Ｉ－２）または式（Ｉ－３）で表されてもよい。式（Ｉ－１）、式（Ｉ－２）または式（Ｉ－３）で表される縮合環化合物Ｃは、縮合環Ｆの対称性が高く、容易に合成できる傾向がある。

【００６８】

縮合環化合物Ｃは、下記式（ＩＩ）で表されてもよい。

【化１５】



(II)

【００６９】

式（ＩＩ）において、R_{B1}からR_{B18}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。

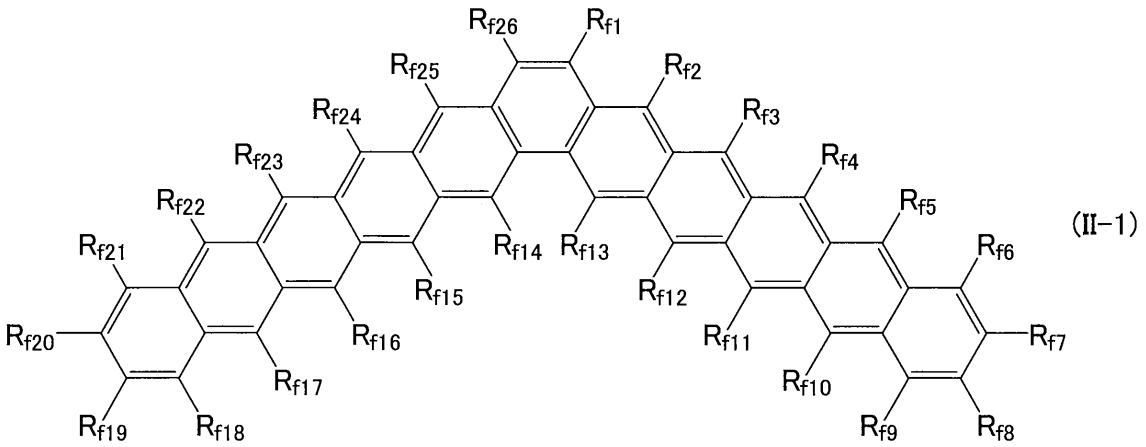
【００７０】

式（ＩＩ）において、Ar_{B1}およびAr_{B2}は、それぞれ独立して、置換基を有していてもよいベンゼン環または置換基を有していてもよいチオフェン環である。ベンゼン環およびチオフェン環の置換基の具体例は、炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。

【００７１】

縮合環化合物Ｃは、下記式（ＩＩ－１）で表されてもよい。

【化１６】



(II-1)

【００７２】

式（ＩＩ－１）において、R_{f1}からR_{f26}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－１）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮合多環炭化水素である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、C_{2V}の対称性を有している。

【００７３】

有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、R_{f1}からR_{f26}から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよい。R_{f1}からR_{f26}は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－１）にお

けるＲ$_{f1}$からＲ$_{f26}$の組み合わせの具体例を下記の表６に示す。表６において、化合物の項目は、特定のＲ$_{f1}$からＲ$_{f26}$を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。

【００７４】

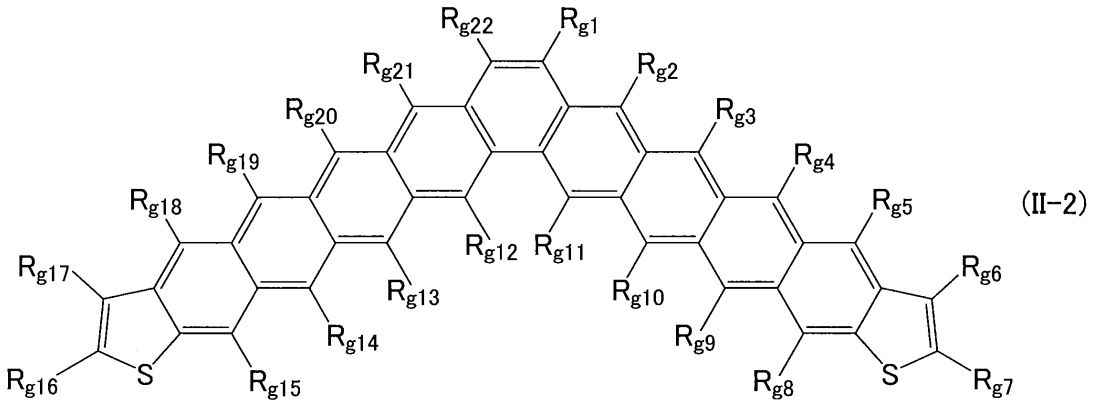
【表６】

化合物	R_{f1} から R_{f26}
vi-1	H

【００７５】

縮合環化合物Ｃは、下記式（ＩＩ－２）で表されてもよい。

【化１７】



(II-2)

【００７６】

式（ＩＩ－２）において、Ｒ$_{g1}$からＲ$_{g22}$は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－２）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮環チオフェン分子である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、C_{2V}の対称性を有している。

【００７７】

有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、Ｒ$_{g1}$からＲ$_{g22}$から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよい。Ｒ$_{g1}$からＲ$_{g22}$は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－２）におけるＲ$_{g1}$からＲ$_{g22}$の組み合わせの具体例を下記の表７に示す。表７において、化合物の項目は、特定のＲ$_{g1}$からＲ$_{g22}$を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。

【００７８】

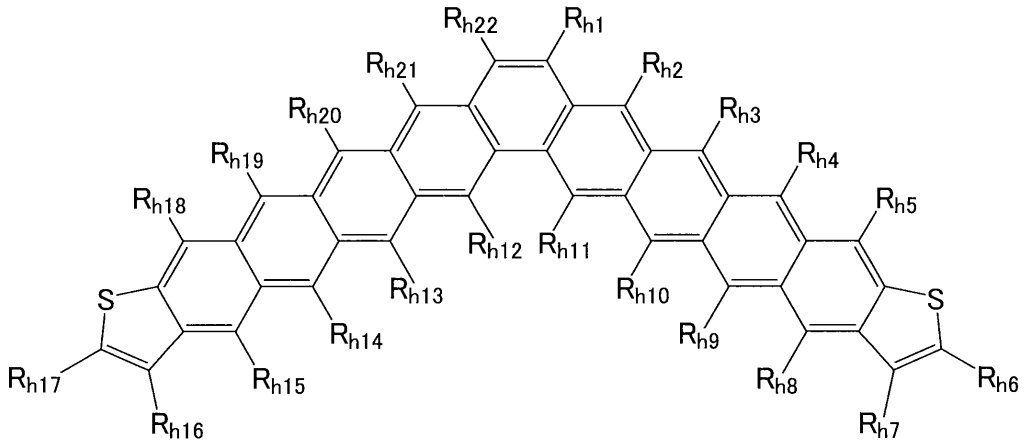
【表７】

化合物	R_{g1} から R_{g22}
vii-1	H

【００７９】

縮合環化合物Ｃは、下記式（ＩＩ－３）で表されてもよい。

【化１８】



(II-3)

【００８０】

式（ＩＩ－３）において、R_{h1}からR_{h22}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－３）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮環チオフェン分子である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、C_{2V}の対称性を有している。

【００８１】

有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、R_{h1}からR_{h22}から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよく、アルキル基であってもよい。R_{h1}からR_{h22}は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－３）におけるR_{h1}からR_{h22}の組み合わせの具体例を下記の表８に示す。表８において、化合物の項目は、特定のR_{h1}からR_{h22}を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。

【００８２】

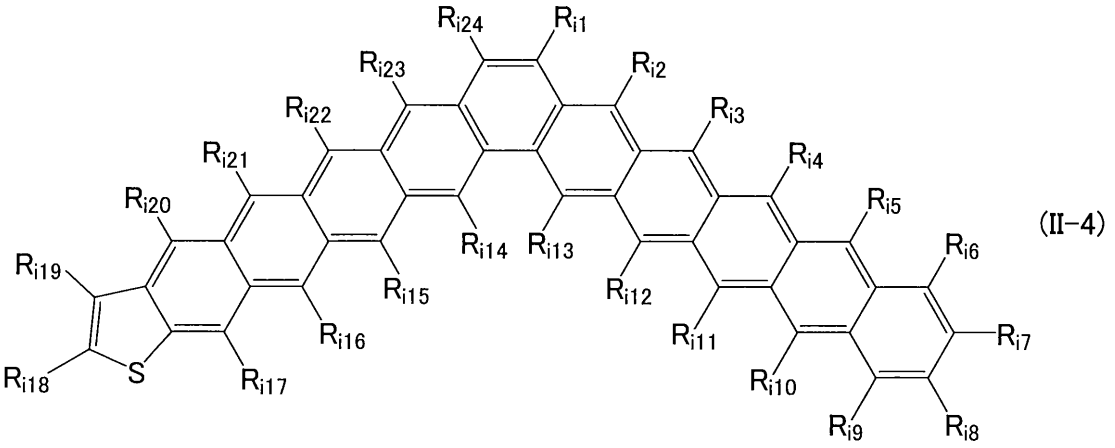
【表８】

化合物	R_{h1} から R_{h22}
viii-1	H

【００８３】

縮合環化合物Ｃは、下記式（ＩＩ－４）で表されてもよい。

【化１９】



(II-4)

【００８４】

式（ＩＩ－４）において、R_{i1}からR_{i24}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－４）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮環チオフェン分子である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、対称性を有していない。

【００８５】

有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、R_{i1}からR_{i24}から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよく、アルキル基であってもよい。R_{i1}からR_{i24}は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－４）におけるR_{i1}からR_{i24}の組み合わせの具体例を下記の表９に示す。表９において、化合物の項目は、特定のR_{i1}からR_{i24}を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。

【００８６】

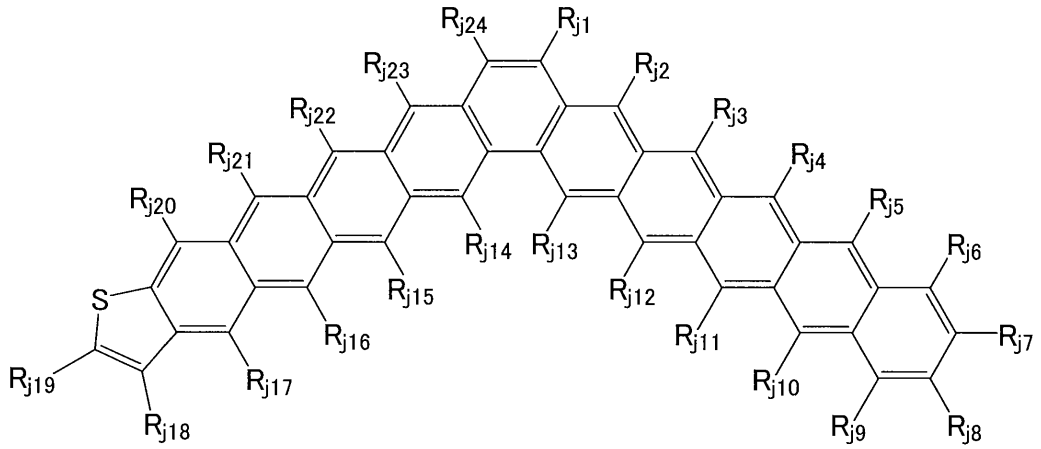
【表９】

化合物	R_{i1} から R_{i24}
ix-1	H

【００８７】

縮合環化合物Ｃは、下記式（ＩＩ－５）で表されてもよい。

【化２０】



(II-5)

【００８８】

式（ＩＩ－５）において、R_{j1}からR_{j24}は、それぞれ独立して、水素原子または炭化水素基である。炭化水素基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－５）で表される縮合環化合物Ｃは、線構造を有する縮合環Ｆを備えた縮環チオフェン分子である。この縮合環化合物Ｃにおいて、縮合環Ｆは、対称性を有していない。

【００８９】

有機溶媒に対する縮合環化合物Ｃの溶解性、および、縮合環化合物Ｃの正孔移動度をより向上させる観点から、R_{j1}からR_{j24}から選ばれる少なくとも１つは、アルキル基またはアリール基であってもよく、アルキル基であってもよい。R_{j1}からR_{j24}は、それぞれ独立して、水素原子、炭素数１以上２０以下のアルキル基、または炭素数６以上１８以下のアリール基であってもよい。アルキル基およびアリール基としては、上述のものが挙げられる。式（ＩＩ－５）におけるR_{j1}からR_{j24}の組み合わせの具体例を下記の表１０に示す。表１０において、化合物の項目は、特定のR_{j1}からR_{j24}を有する縮合環化合物Ｃの略称を示している。

【００９０】

【表１０】

化合物	R_{j1} から R_{j24}
x-1	H

【００９１】

[縮合環化合物の製造方法]

縮合環化合物Ｃは、市販の化合物を原料として用いて、ハロゲン化反応、薗頭カップリング反応などの公知の反応を組み合わせて行うことによって合成することができる。反応によって副生物が生じた場合は、カラムクロマトグラフィなどの公知の方法によって分離操作および精製操作を行ってもよい。

【００９２】

[縮合環化合物の同定方法]

本開示の縮合環化合物Ｃは、元素分析、質量分析法および^{13}Ｃ－ＮＭＲにより同定することができる。すなわち、元素分析により、１分子の縮合環化合物Ｃを構成する原子の数の比率を特定する。質量分析法により、縮合環化合物Ｃの分子量を特定する。これらの結果に基づいて、縮合環化合物Ｃの分子式を決定することができる。さらに、^{13}Ｃ－ＮＭＲ

で得られる各ピークのケミカルシフト量を解析することによって、縮合環化合物Ｃの構造式を決定することができる。これらの方法により、置換基の種類および置換基の位置を特定することもできる。

【００９３】

［縮合環化合物の特性］

本実施形態の縮合環化合物Ｃでは、再配向エネルギーが十分に小さく、キャリア移動度が大きい傾向がある。縮合環化合物Ｃについて、正孔の移動による再配向エネルギーは、特に限定されず、例えば０．１０ｅＶ以下であり、０．０８ｅＶ以下であってもよく、０．０７ｅＶ以下であってもよく、０．０６ｅＶ以下であってもよい。縮合環化合物Ｃの再配向エネルギーの下限値は、特に限定されず、例えば０．０４ｅＶである。

【００９４】

なお、キャリア移動度に相当する電荷のホッピングレートは、以下の式（Ｆ１）で算出することができる。式（Ｆ１）は、David R.Evans et al, Organic Electronics, 2016, Vol. 29, p. 50.などに報告されている。

【数１】

$$\kappa = \frac{\pi H^2}{\hbar\sqrt{\pi\lambda k_B T}} \exp\left(-\frac{\lambda}{4k_B T}\left(1+\frac{\Delta G}{\lambda}\right)\right) \quad (F1)$$

【００９５】

式（Ｆ１）において、κは、電荷のホッピングレートである。ΔＧは、電荷移動に伴う自由エネルギーの変化量である。λは、マーカス理論における再配向エネルギーである。Ｈは、分子同士の間における電子のカップリングである。k_Bは、ボルツマン定数である。Ｔは、温度である。ｈ－（エイチバー）は、プランク定数である。

【００９６】

再配向エネルギーは、単分子の元素配置、および単分子の立体形状に依存する物理量である。詳細には、再配向エネルギーは、複数の分子間でキャリアがホッピング伝導したときにおける分子の構造変形に伴うエネルギーの変化量を表す。再配向エネルギーは、電荷の輸送速度に大きく寄与し、その値が小さければ小さいほど、キャリア移動度が向上する傾向がある。再配向エネルギーとキャリア移動度とがよく相関していることは、Shigeyoshi Sakaki et al, J. Phys. Chem. A, 1999, Vol. 103, p. 5551-5556.などに報告されている。

【００９７】

再配向エネルギーλは、Ｅ（neutral state in neutral geometry）、E^*（neutral state in ionic geometry）、$E_\pm$（ionic state in ionic geometry）および$E_\pm^*$（ionic state in neutral geometry）の４点のエネルギーの値を用いて、以下の式（Ｆ２）で定義される。

【数２】

$$\lambda = (E_\pm^* - E_\pm) + (E^* - E) \quad (F2)$$

【００９８】

再配向エネルギーλは、例えば、密度汎関数法によって算出することができる。この計算には、Ｇａｕｓｓｉａｎ０９などの公知のソフトウェアを利用することができる。このとき、汎関数としては、Ｂ３ＬＹＰを用いることができる。基底関数としては、６－３１Ｇ（ｄ,ｐ）を用いることができる。

【００９９】

［縮合環化合物の用途］

本開示の縮合環化合物Ｃは、優れたキャリア移動度を有する傾向がある。そのため、縮

合環化合物Ｃは、半導体材料に適している。本開示は、その別の側面から、縮合環化合物Ｃを含む、半導体材料Ｓを提供する。縮合環化合物Ｃは、例えば、優れた正孔移動度を有する。このような縮合環化合物Ｃを含む半導体材料Ｓは、例えば、ｐ型半導体材料として用いることができる。本開示では、縮合環化合物Ｃを含む半導体材料Ｓを分子系有機半導体材料または炭素系正孔輸送材料と呼ぶことがある。

【０１００】

本開示の縮合環化合物Ｃを含む半導体材料Ｓは、電子デバイスに利用することができる。本開示は、その別の側面から、半導体材料Ｓを含む、電子デバイスを提供する。電子デバイスは、詳細には、半導体材料Ｓを含む半導体膜を備えている。本開示では、電子デバイスを電子素子と呼ぶことがある。縮合環化合物Ｃを電子デバイスに利用することによって、電子デバイスの周波数特性を向上させることができる。電子デバイスの具体例としては、トランジスタが挙げられる。

【０１０１】

（電子デバイスの実施形態）

図１は、本開示の縮合環化合物Ｃを用いた電子デバイスの一例を示す構造模式図である。図１に示すように、電子デバイス１０は、ゲート電極１、ソース電極３、ドレイン電極４および半導体膜５を備えている。電子デバイス１０は、ゲート絶縁膜２をさらに備えていてもよい。電子デバイス１０において、半導体膜５が半導体材料Ｓを含んでいる。図１の電子デバイス１０は、典型的にはトランジスタである。詳細には、図１は、トランジスタの基本構造を示している。

【０１０２】

ゲート電極１は、例えば、板状であり、ゲート絶縁膜２、ソース電極３、ドレイン電極４および半導体膜５を支持している。ゲート絶縁膜２は、ゲート電極１の上に位置しており、ゲート電極１の主面を被覆している。ゲート絶縁膜２は、ゲート電極１の主面全体を被覆していてもよい。

【０１０３】

ソース電極３およびドレイン電極４のそれぞれは、例えば、帯状である。ソース電極３およびドレイン電極４は、互いに接触しないように、ゲート絶縁膜２の上に位置している。ソース電極３およびドレイン電極４の間には、空間が形成されている。ソース電極３およびドレイン電極４のそれぞれがゲート絶縁膜２に接触している。ソース電極３およびドレイン電極４は、それぞれ、ゲート電極１の１対の端面の一方から他方まで延びている。

【０１０４】

半導体膜５は、ゲート絶縁膜２、ソース電極３およびドレイン電極４のそれぞれと接触している。詳細には、半導体膜５は、ソース電極３およびドレイン電極４の間において露出しているゲート絶縁膜２の表面を被覆するとともに、ソース電極３およびドレイン電極４のそれぞれを被覆している。半導体膜５は、ソース電極３およびドレイン電極４の間に存在する空間を埋めている。

【０１０５】

ゲート電極１の材料は、電子デバイスの分野で電極材料として使用されるものである限り、特に限定されない。ゲート電極１の材料は、例えば、金属である。ゲート電極１の材料としては、シリコン、金、銅、ニッケル、アルミニウムなどが挙げられる。

【０１０６】

ゲート絶縁膜２の材料は、電気絶縁性を有するものである限り、特に限定されない。ゲート絶縁膜２の材料としては、金属酸化物、金属窒化物、高分子材料などが挙げられる。金属酸化物としては、SiO_2などのシリコン酸化物、Ta_2O_5などのタンタル酸化物、Al_2O_3などのアルミニウム酸化物、TiO_2などのチタン酸化物、Y_2O_3などのイットリウム酸化物、La_2O_3などのランタン酸化物などが挙げられる。金属窒化物としては、Si_3N_4などのシリコン窒化物などが挙げられる。高分子材料としては、エポキシ樹脂、ポリイミド（ＰＩ）樹脂、ポリフェニレンエーテル（ＰＰＥ）樹脂、ポリフェニレンオキシド樹脂（ＰＰＯ）、ポリビニルピロリドン（ＰＶＰ）樹脂などが挙げられる。

【０１０７】
ソース電極３およびドレイン電極４の材料としては、ゲート電極１について上述した材料が挙げられる。
【０１０８】
上述のとおり、半導体膜５が半導体材料Ｓを含む。詳細には、半導体膜５は、縮合環化合物Ｃを含むｐ型半導体膜である。半導体膜５における縮合環化合物Ｃの含有率は、特に限定されず、例えば０．１質量％以上であり、１質量％以上であってもよい。正孔移動度を向上させる観点から、縮合環化合物Ｃの含有率は、１０質量％以上であってもよく、５０質量％以上であってもよく、１００質量％であってもよい。
【０１０９】
半導体膜５は、縮合環化合物Ｃ以外の他の材料をさらに含んでいてもよい。他の材料としては、フラーレン、ペリレンジイミド、ポリチオフェン、縮合環化合物Ｃ以外の他の縮環チオフェン分子などが挙げられる。
【０１１０】
半導体膜５は、真空蒸着法、コーティング法などの公知の方法によって形成することができる。真空蒸着法によって半導体膜５を形成する場合、縮合環化合物Ｃのみを蒸着材料として用いることによって、縮合環化合物Ｃの含有率が１００質量％である半導体膜５を形成することができる。
【０１１１】
（電子デバイスの変形例）
図２は、本開示の縮合環化合物Ｃを用いた電子デバイスの別の例を示す構造模式図である。図２に示すように、電子デバイス１１は、ゲート電極１７、ソース電極１３、ドレイン電極１４および半導体膜１５を備えている。電子デバイス１１は、下地基板１２およびゲート絶縁膜１６をさらに備えていてもよい。電子デバイス１１において、半導体膜１５が半導体材料Ｓを含んでいる。図２の電子デバイス１１は、典型的にはトランジスタである。詳細には、図２は、トランジスタの別の基本構造を示している。
【０１１２】
下地基板１２は、例えば、板状であり、ソース電極１３、ドレイン電極１４、半導体膜１５、ゲート絶縁膜１６およびゲート電極１７を支持している。下地基板１２は、例えば、絶縁層を有する。下地基板１２は、シリコンウェハと、シリコンウェハの上に位置する絶縁層とを有していてもよい。下地基板１２において、絶縁層は、シリコンウェハの主面全体を被覆していてもよい。
【０１１３】
ソース電極１３およびドレイン電極１４のそれぞれは、例えば、帯状である。ソース電極１３およびドレイン電極１４は、互いに接触しないように、下地基板１２の上に位置している。ソース電極１３およびドレイン電極１４の間には、空間が形成されている。ソース電極１３およびドレイン電極１４のそれぞれが下地基板１２に接触しており、詳細には、下地基板１２の絶縁層に接触している。ソース電極１３およびドレイン電極１４は、それぞれ、下地基板１２の１対の端面の一方から他方まで延びている。
【０１１４】
半導体膜１５は、下地基板１２、ソース電極１３およびドレイン電極１４のそれぞれと接触している。詳細には、半導体膜１５は、ソース電極１３およびドレイン電極１４の間において露出している下地基板１２の表面を被覆するとともに、ソース電極１３およびドレイン電極１４のそれぞれを被覆している。半導体膜１５は、下地基板１２の絶縁層に接触している。半導体膜１５は、ソース電極１３およびドレイン電極１４の間に存在する空間を埋めている。
【０１１５】
ゲート絶縁膜１６は、半導体膜１５の上に位置しており、半導体膜１５の主面を被覆している。ゲート絶縁膜１６は、半導体膜１５の主面全体を被覆していてもよい。
【０１１６】

ゲート電極１７は、例えば、帯状である。ゲート電極１７は、ゲート絶縁膜１６の上に位置し、ゲート絶縁膜１６に接触している。ゲート電極１７は、下地基板１２の１対の端面の一方から他方まで延びている。電子デバイス１１を平面視したときに、ゲート電極１７は、ソース電極１３およびドレイン電極１４の間に位置している。

【０１１７】

下地基板１２の絶縁層の材料は、電気絶縁性を有するものである限り、特に限定されない。絶縁層の材料としては、金属酸化物、金属窒化物、高分子材料などが挙げられる。金属酸化物としては、SiO_2などのシリコン酸化物、Ta_2O_5などのタンタル酸化物、Al_2O_3などのアルミニウム酸化物、TiO_2などのチタン酸化物、Y_2O_3などのイットリウム酸化物、La_2O_3などのランタン酸化物などが挙げられる。金属窒化物としては、Si_3N_4などのシリコン窒化物などが挙げられる。高分子材料としては、エポキシ樹脂、ポリイミド（ＰＩ）樹脂、ポリフェニレンエーテル（ＰＰＥ）樹脂、ポリフェニレンオキシド樹脂（ＰＰＯ）、ポリビニルピロリドン（ＰＶＰ）樹脂などが挙げられる。

【０１１８】

ソース電極１３およびドレイン電極１４の材料としては、電子デバイスの分野で電極材料として使用されるものである限り、特に限定されない。ソース電極１３およびドレイン電極１４の材料は、例えば、金属である。ソース電極１３およびドレイン電極１４の材料としては、シリコン、金、銅、ニッケル、アルミニウムなどが挙げられる。

【０１１９】

上述のとおり、半導体膜１５が半導体材料Ｓを含む。詳細には、半導体膜１５は、縮合環化合物Ｃを含むｐ型半導体膜である。半導体膜１５における縮合環化合物Ｃの含有率は、特に限定されず、例えば０．１質量％以上であり、１質量％以上であってもよい。正孔移動度を向上させる観点から、縮合環化合物Ｃの含有率は、１０質量％以上であってもよく、５０質量％以上であってもよく、１００質量％であってもよい。

【０１２０】

半導体膜１５は、縮合環化合物Ｃ以外の他の材料をさらに含んでいてもよい。他の材料としては、フラーレン、ペリレンジイミド、ポリチオフェン、縮合環化合物Ｃ以外の他の縮環チオフェン分子などが挙げられる。

【０１２１】

ゲート絶縁膜１６の材料は、電気絶縁性を有するものである限り、特に限定されない。ゲート絶縁膜１６の材料としては、下地基板１２の絶縁層について上述した材料が挙げられる。

【０１２２】

ゲート電極１７の材料としては、ソース電極１３およびドレイン電極１４について上述した材料が挙げられる。

【実施例】

【０１２３】

以下、実施例により本開示をさらに詳細に説明する。なお、以下の実施例は一例であり、本開示は以下の実施例に限定されない。

【０１２４】

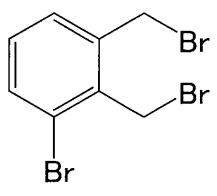
＜実験例１＞

ジナフトチエノチオフェン（ＤＮＴＴ）、表１の化合物（ｉ－１）から化合物（ｉ－９）、表２の化合物（ｉｉ－１）から化合物（ｉｉ－３）、表３の化合物（ｉｉｉ－１）から化合物（ｉｉｉ－３）、表４の化合物（ｉｖ－１）、表５の化合物（ｖ－１）、表６の化合物（ｖｉ－１）および表７の化合物（ｖｉｉ－１）について、正孔の移動による再配向エネルギーを計算した。ＤＮＴＴは、大きい正孔移動度を有するｐ型有機半導体材料として知られている。再配向エネルギーの計算は、上述した式（Ｆ２）に基づいて、密度汎関数法によって行った。詳細には、計算ソフトウェアであるＧａｕｓｓｉａｎ０９を用いて再配向エネルギーを計算した。このとき、汎関数として、Ｂ３ＬＹＰを用いた。基底関数として、６－３１Ｇ（ｄ,ｐ）を用いた。結果を表１１に示す。

【０１２５】
【表１１】

化合物	再配向エネルギー [eV]
DNTT	0.12
i-1	0.056
i-2	0.055
i-3	0.057
i-4	0.058
i-5	0.057
i-6	0.058
i-7	0.057
i-8	0.057
i-9	0.057
ii-1	0.058
ii-2	0.058
ii-3	0.062
iii-1	0.059
iii-2	0.057
iii-3	0.058
iv-1	0.058
v-1	0.058
vi-1	0.074
vii-1	0.074

【０１２６】
表１１から、本開示の縮合環化合物Ｃは、ＤＮＴＴと比べて、十分に小さい再配向エネルギーを示すことがわかる。上述のとおり、再配向エネルギーと正孔移動度とは、よく相関する。詳細には、再配向エネルギーと正孔移動度とは、負の相関を示す。表１１の結果から、本開示の縮合環化合物Ｃは、ＤＮＴＴよりも大きい正孔移動度を有することが推定される。このことから、縮合環化合物Ｃは、半導体材料に適していると言える。
【０１２７】
＜実験例２＞
（化合物（ｉ－１）の製造）
以下の方法によって、化合物（ｉ－１）を合成した。まず、市販の１－ブロモ－２,３－ジメチルベンゼンとブロモスクシンイミドとを含むテトラクロロメタン溶液を調製した。この溶液を室温で１.５時間保持することによって、下記式（３）で表される化合物が得られた。
【化２１】

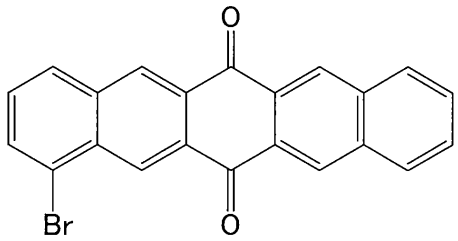


(3)

【０１２８】

次に、得られた化合物に、１,４－アントラキノンおよびヨウ化カリウムを加えて、Ｎ，Ｎ－ジメチルホルムアミド（ＤＭＦ）中、１１０℃で２０時間保持することによって、下記式（４）で表される化合物が得られた。

【化２２】

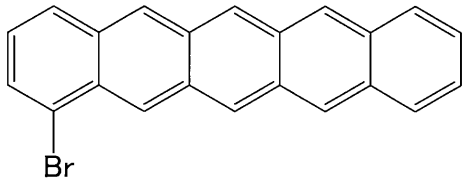


(4)

【０１２９】

次に、得られた化合物に、アルミニウム、テトラブロモメタンおよび塩化水銀（ＩＩ）を加えて、シクロヘキサノール中、１００℃で３日程度保持した。さらに、塩酸およびエタノールを加えて、１００℃で２時間保持することによって、下記式（５）で表される化合物Ａが得られた。

【化２３】

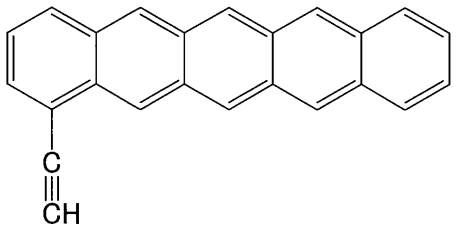


(5)

【０１３０】

次に、上記の化合物Ａに、トリメチルシリルアセチレン、ジイソプロピルアミン、ＣｕＩおよび$PdCl_2(PPh_3)_2$を加えて、テトラヒドロフラン中、２４時間還流した。さらに、得られた混合液に、フッ化カリウムおよびメタノールを加えて、１２時間還流することによって、下記式（６）で表される化合物が得られた。

【化２４】

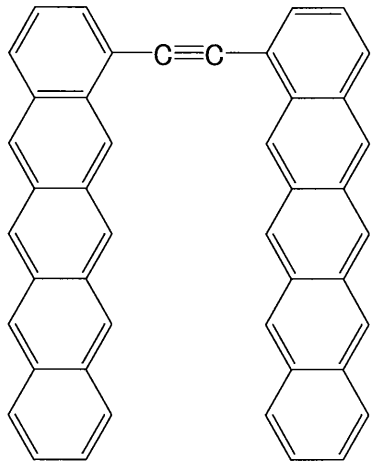


(6)

【０１３１】

次に、式（６）で表される化合物に、式（５）で表される化合物Ａ、トリエチルアミン、ＣｕＩ、$Pd(PPh_3)_4$およびDI-μ-iododicopperを加えて、ＤＭＦ中、５５℃で保持することによって、下記式（７）で表される化合物が得られた。

【化２５】

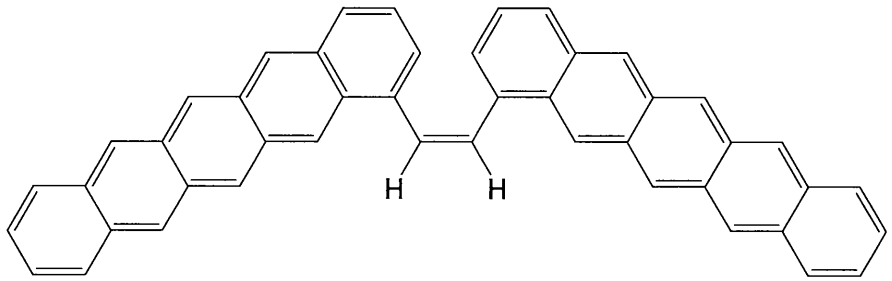


(7)

【０１３２】

次に、得られた化合物に、ＰｄＣａＣｏ$_3$とＰｄ（ＯＣＯＣＨ$_3$）$_2$およびキノリンを加えて、水素雰囲気下、酢酸エチル中、室温で１時間保持することによって、下記式（８）で表される化合物が得られた。

【化２６】

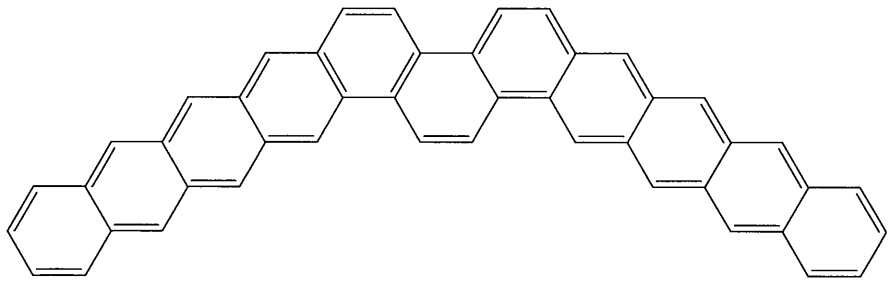


(8)

【０１３３】

次に、得られた化合物に、ヨウ素を加えて、酸素雰囲気下、トルエン中、室温で６分保持することによって、下記式（９）で表される化合物（ｉ－１）が得られた。

【化２７】



(9)

【０１３４】

化合物（ｉ－１）は、元素分析、質量分析法および^{13}Ｃ－ＮＭＲによって同定した。元素分析では、炭素原子の数と、水素原子の数との比がＣ：Ｈ＝２３：１３であった。質量分析では、分子量が５７８．７であった。

【０１３５】

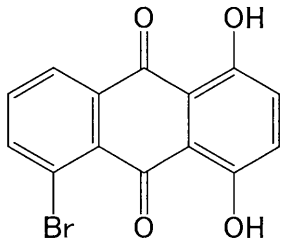
＜実験例３＞

（化合物（ｉｉ－１）の製造）

以下の方法によって、化合物（ｉｉ－１）を合成した。まず、市販の１－ブロモアント

ラキノンに、Ｐｈ（ＯＡｃ）$_2$およびジクロロ（ｐ－シメン）ルテニウム（ＩＩ）を加えて、無水トリフルオロ酢酸中、８０℃で１２時間保持することによって、下記式（１０）で表される化合物が得られた。

【化２８】

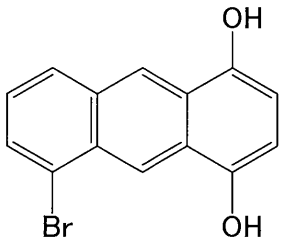


(10)

【０１３６】

次に、得られた化合物に亜ジチオン酸ナトリウムを加えて、ジオキサン中、室温下で一晩程度保持することによって、下記式（１１）で表される化合物が得られた。

【化２９】

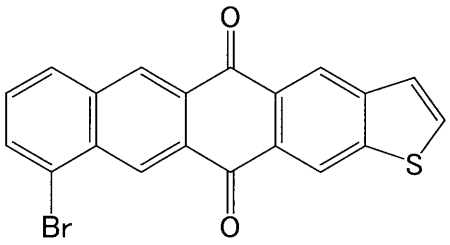


(11)

【０１３７】

次に、得られた化合物に、２,３－チオフェンジカルボキシアルデヒドおよび水酸化ナトリウムを加えて、エタノール、水およびテトラヒドロフランの混合溶液中、室温で１時間保持することによって、下記式（１２）で表される化合物が得られた。

【化３０】

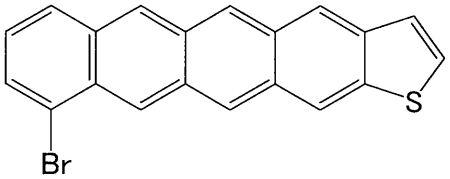


(12)

【０１３８】

次に、得られた化合物に水素化ホウ素ナトリウムを加えて、テトラヒドロフラン中、６０℃で一日以上保持した。さらに、塩酸および塩化スズ（ＩＩ）を加えて、６０℃で１時間保持することによって、下記式（１３）で表される化合物Ｂが得られた。

【化３１】

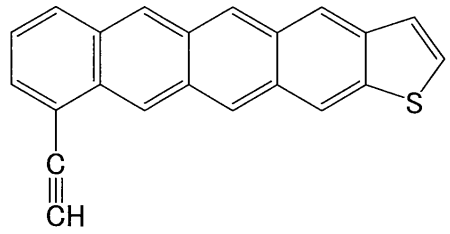


(13)

【０１３９】

次に、上記の化合物Ｂに、トリメチルシリルアセチレン、ピペリジン、ＣｕＩおよびＰｄＣｌ$_2$（ＰＰｈ$_3$）$_2$を加えて、テトラヒドロフラン中、１２０℃で２．５時間保持した。さらに、得られた混合液に、炭酸カリウム、塩化スズおよびメタノールを加えて、室温で４０分保持することによって、下記式（１４）で表される化合物が得られた。

【化３２】

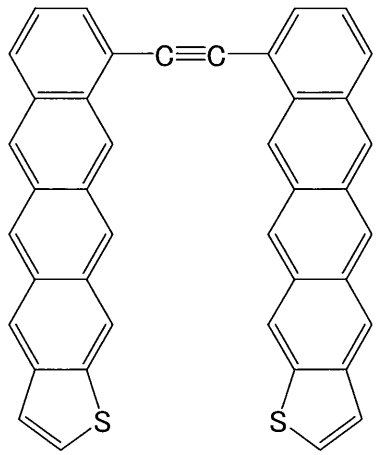


(14)

【０１４０】

次に、式（１４）で表される化合物に、式（１３）で表される化合物Ｂ、トリエチルアミン、ＣｕＩおよびＰｄＣｌ$_2$（ＰＰｈ$_3$）$_2$を加えて、ＤＭＦ中、１３０℃で１６時間保持することによって、下記式（１５）で表される化合物が得られた。

【化３３】

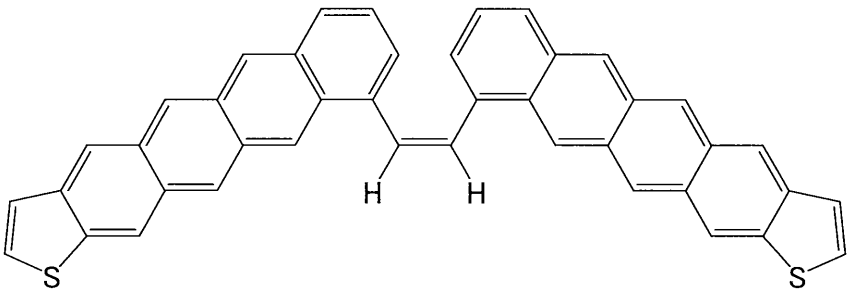


(15)

【０１４１】

次に、得られた化合物に、水酸化カリウムおよび酢酸パラジウムを加えて、ＤＭＦ中、１４５℃で６時間保持することによって、下記式（１６）で表される化合物が得られた。

【化３４】

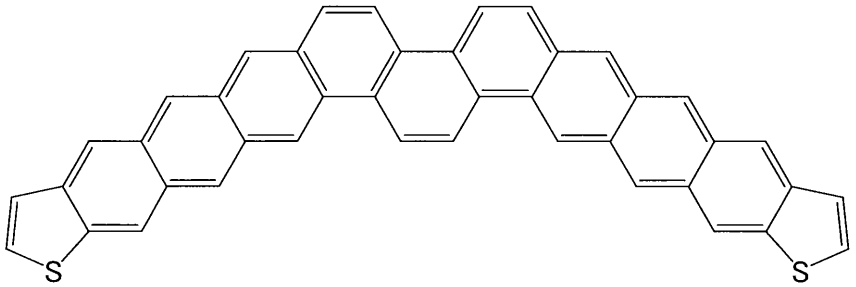


(16)

【０１４２】

次に、得られた化合物に、塩化鉄（ＩＩＩ）を加えて、ＭｅＮＯ$_2$およびＣＨ$_2$Ｃｌ$_2$の混合溶液中、室温で１時間保持することによって、下記式（１７）で表される化合物（ｉｉ－１）が得られた。

【化３５】



(17)

【０１４３】

化合物（ｉｉ－１）は、元素分析、質量分析法および^{13}Ｃ－ＮＭＲによって同定した。元素分析では、炭素原子の数、水素原子の数および硫黄原子の数の比がＣ：Ｈ：Ｓ＝２１：１１：１であった。質量分析では、分子量が５９０．７５６であった。

【産業上の利用可能性】

【０１４４】

本開示の縮合環化合物Ｃは、優れたキャリア移動度を有する傾向がある。そのため、縮合環化合物Ｃは、半導体材料に適している。特に、縮合環化合物Ｃは、ｐ型半導体材料として有用である。縮合環化合物Ｃを含む半導体材料Ｓは、電子デバイスに利用することができる。縮合環化合物Ｃを電子デバイスに利用することによって、電子デバイスの周波数特性を向上させることができる。電子デバイスの具体例としては、トランジスタが挙げられる。

【図面】

【図１】

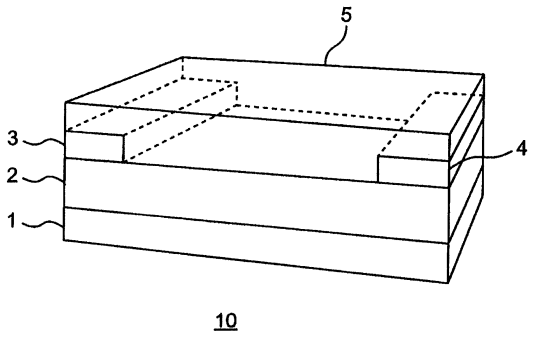


FIG. 1

【図２】

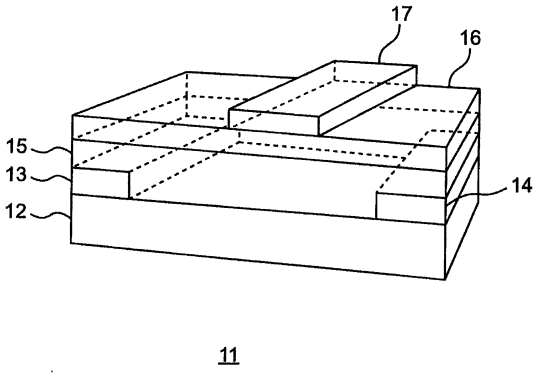


FIG. 2

フロントページの続き

大阪府門真市大字門真１００６番地 パナソニックインダストリー株式会社内
(72)発明者 松澤 伸行
大阪府門真市大字門真１００６番地 パナソニックインダストリー株式会社内
(72)発明者 前嶋 宏行
大阪府門真市大字門真１００６番地 パナソニックインダストリー株式会社内

審査官 鳥居 福代

(56)参考文献
特開２０１９－０２９６５７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１６－１３４４７４（ＪＰ，Ａ）
特開２０１５－１７８４９１（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１６／０８４７３１（WO，Ａ１）
YANG, Y. et al.，Nature of ground and electronic excited states of higher acenes，PNAS，2016年，Vol.113, No.35，p.E5098-E5107
JANCARIK, A. et al.，Synthesis and Absorption Properties of Long Acenoacenes，Chemistry - A European Journal，2021年07月20日，Vol.27, No.48，p.12388-12394
STNext File REGISTRY [online]，[retrieved on 2022.08.24]
ZUZAK, R. et al.，On-Surface Synthesis and Intermolecular Cycloadditions of Indacenoditetracenes, Antiaromatic Analogues of Undecacene，ACS Nano，2020年12月21日，Vol.15, No.1，p.1548-1554
ZUZAK, R. et al.，Higher Acenes by On-Surface Dehydrogenation: From Heptacene to Undecacene，Angewandte Chemie, International Edition，2018年，Vol.57, No.33，p.10500-10505，(Supporting Information p.S1-S23を含む。)
AJAYAKUMAR, M. R. et al.，Tailoring Magnetic Features in Zigzag-Edged Nanographenes by Controlled Diels-Alder Reactions，Chemistry - A European Journal，2020年，Vol.26, No.33，p.7497-7503

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｃ０７Ｃ
Ｃ０７Ｄ
Ｈ１０Ｋ
Ｈ１０Ｄ
ＣＡｐｌｕｓ／ＲＥＧＩＳＴＲＹ（ＳＴＮ）