

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-173886

(P2013-173886A)

(43) 公開日 平成25年9月5日(2013.9.5)

(51) Int.Cl.

C08G 75/23

(2006.01)

F 1

C08G 75/23

テーマコード(参考)

4 J O 3 O

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願2012-40449 (P2012-40449)

(22) 出願日

平成24年2月27日 (2012.2.27)

(71) 出願人 304021417

国立大学法人東京工業大学

東京都目黒区大岡山2丁目12番1号

(71) 出願人 000004178

J S R株式会社

東京都港区東新橋一丁目9番2号

(74) 代理人 100086759

弁理士 渡辺 喜平

(74) 代理人 100100608

弁理士 森島 なるみ

(72) 発明者 上田 充

東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内

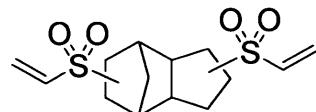
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】トリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.6]デカン構造を繰り返し単位に含む重合体

## (57) 【要約】

【課題】高屈折率かつ高アッベ数を有すると同時に、優れた耐熱性と、高いガラス転移温度( $T_g$ )をも有する重合体を提供する。

【解決手段】下記式(1)で表される化合物、及び少なくともトリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.6]デカン構造、スルホン基及びスルフィド基を含み、かつ同一の炭素原子に複数の硫黄原子が結合する場合を含まない繰り返し単位を有する重合体。



(1)

10

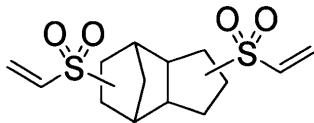
【選択図】なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

下記式(1)で表される化合物。

## 【化13】



(1)

## 【請求項 2】

少なくともトリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン構造、スルホン基及びスルフィド基を含み、かつ同一の炭素原子に複数の硫黄原子が結合する場合を含まない繰り返し単位を有する重合体。 10

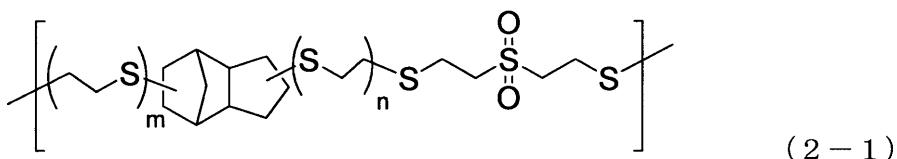
## 【請求項 3】

前記繰り返し単位に、さらにジチアン環を含む、請求項2に記載の重合体。

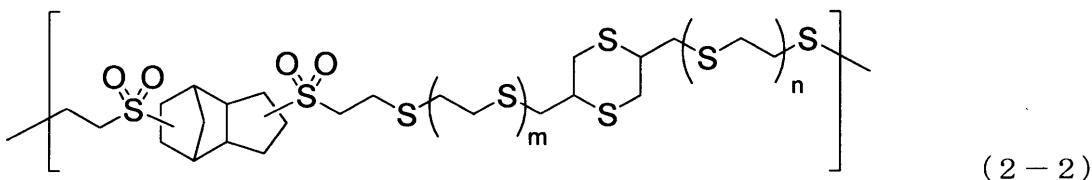
## 【請求項 4】

下記式(2-1)及び/又は下記式(2-2)で表される繰り返し単位を有する、請求項2に記載の重合体。 20

## 【化14】



(2-1)



(2-2)

[式中、m及びnは、それぞれ独立して0~10の整数を表す。]

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン構造を有する化合物、及びそれを繰り返し単位に含む重合体に関する。 30

## 【背景技術】

## 【0002】

高機能材料の開発は、進化した光学装置の発達に益々必須になってきている。高い屈折率及び高いアッペ数を有する高分子材料は、無機ガラスに比べて、軽量、耐衝撃性、加工性及び可染性という利点を有し、レンズ、プリズム及び導波路等の光学材料としての可能性から非常に注目されている。 40

## 【0003】

高分子材料には、熱硬化性樹脂及び熱可塑性樹脂が含まれる。エビスルフィド類、ポリチオール類及びポリイソシアネート類に由来する樹脂のような熱硬化性樹脂は、キャスト成形によって製造される眼鏡等の消費者用途のために開発してきた。他方、ポリ(メチルメタクリレート)、ポリカーボネート及びシクロオレフィン重合体類等の熱可塑性樹脂は、射出成形を適用したカメラ、ピックアップ及びプロジェクターのレンズに用いられている。

## 【0004】

重合体の屈折率を高める一般的なアプローチは、ローレンツ-ローレンツ式に従って、

10

20

30

40

50

分子屈折が高く、分子容積が小さい置換基を導入することである。多様な置換基のうち、分極率が高く、安定性が高く、かつ重合体への導入が容易であることから、硫黄原子が一般に選択される。

#### 【0005】

一方、屈折率分散の主な尺度であるアッベ数( $n_D$ )も、可視領域で用いられる光学材料の重要なパラメーターである。アッベ数は下記式(1)によって求められる。

$$D = (n_D - 1) / (n_F - n_C) \quad (1)$$

式中、 $n_D$ 、 $n_F$ 及び $n_C$ はそれぞれ、ナトリウムD線(589.3 nm)、水素F線(486.1 nm)及び水素C線(656.3 nm)の各波長における材料の屈折率を示す。

10

#### 【0006】

アッベ数が高いと屈折率分散は低くなる。高屈折率材料は一般にアッベ数が低いことが報告されている。そのため、高屈折率かつ高アッベ数を有する高分子材料の開発が課題となっている。

#### 【0007】

高屈折率かつ高アッベ数の重合体類の開発に関する報告の殆どは硫黄原子を含むものである。本発明者らのグループでは、スルフィド基及びスルホン基を同時に導入した、高屈折率かつ高アッベ数のポリ(チオエーテルスルホン)(以下、PESということがある)である、2,5-ジメルカプト-1,4-ジチアン(DSDT)とジビニルスルホン(以下、DVSということがある)とを重合させた重合体を開発した(特許文献1)。

20

#### 【0008】

スルフィド基は、高い原子屈折( $[R] = 7.80$ )及び高い原子分散( $[R] = 0.22$ )を有するため、一般に、高硫黄含量の重合体は高屈折率で比較的低アッベ数(<40)である。

#### 【0009】

他方、スルホン基は、原子屈折 $[R]$ が9.76で、原子分散 $[R]$ が0.07と低いため、スルフィド基及びスルホン基の両方の基を含有するPESは高屈折率かつ高アッベ数を示す。しかしながら、特許文献1に開示されたPESでは、主鎖中にチオアセタール基を有しているため、射出成形法を適用できるほどには熱安定性は高くならない。

30

#### 【0010】

そこで、本発明者らのグループでは、PES類の熱安定性を改善するため、チオアセタール基を有しない、2,5-ビス(メルカプトメチル)-1,4-ジチアン(BMMD)/ジビニルスルホン(DVS)、及び1,4-シクロヘキサンジチオール(CHDT)/DVSを、環状構造を有するジチオール類を用いて製造した(特許文献2)。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0011】

【特許文献1】特開2009-209277号公報

【特許文献2】特開2010-84122号公報

40

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0012】

特許文献2に開示したPES類は確かに熱安定性が高く、大気下200℃でも着色が無く、高屈折率かつ高アッベ数を示した。しかしながら、特許文献2においては、PES類の分解温度の改善には成功したが、ガラス転移温度( $T_g$ )はまだ50℃付近と低く、射出成形等の一般的な成形加工法を適用するには不十分であった。

#### 【0013】

本発明は上述の問題点に鑑みて為されたものであり、高屈折率かつ高アッベ数を有すると同時に、優れた耐熱性と、高いガラス転移温度( $T_g$ )を有する重合体を提供することを目的とする。

50

## 【0014】

本発明者らは、硬い分子に属する、3つの縮合シクロヘキサンからなるトリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.<sup>6</sup>]デカン構造を重合体の繰り返し単位中に導入することで、重合体のガラス転移温度を高めることを見出した。

## 【0015】

さらに、本発明者らは、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.<sup>6</sup>]デカン構造、スルホン基及びスルフィド基を含む繰り返し単位を有する重合体は、高屈折率かつ高アッベ数を有し、同時に優れた耐熱性、さらには高いガラス転移温度( $T_g$ )をも有することを見出し、本発明を完成させた。

## 【課題を解決するための手段】

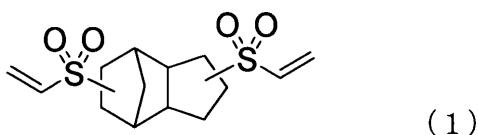
10

## 【0016】

本発明によれば、以下の化合物及び重合体が提供される。

1. 下記式(1)で表される化合物。

## 【化1】



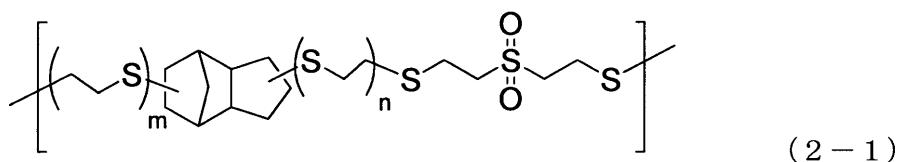
2. 少なくともトリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.<sup>6</sup>]デカン構造、スルホン基及びスルフィド基を含み、かつ同一の炭素原子に複数の硫黄原子が結合する場合を含まない繰り返し単位を有する重合体。

20

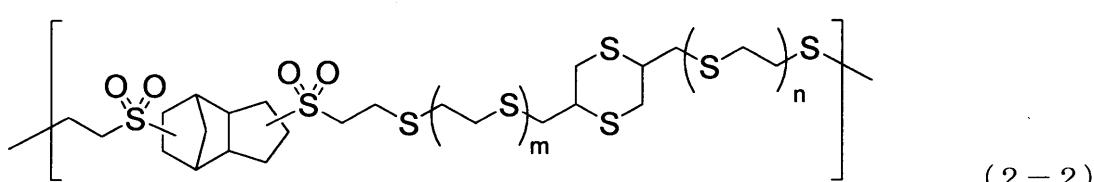
3. 前記繰り返し単位に、さらにジチアン環を含む、請求項2に記載の重合体。

4. 下記式(2-1)及び/又は下記式(2-2)で表される繰り返し単位を有する、請求項2に記載の重合体。

## 【化2】



30



[式中、m及びnは、それぞれ独立して0~10の整数を表す。]

## 【発明の効果】

## 【0017】

本発明によれば、光学適用に有用なビス(ビニルスルホン)トリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.<sup>6</sup>]デカン(以下、VSTCDといふことがある)が提供される。

40

また、本発明によれば、高屈折率と同時に高アッベ数を有し、耐熱性にも優れ、さらに高いガラス転移温度( $T_g$ )をも有する重合体が提供される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0018】

【図1】中間体1、2及びビス(ビニルスルホン)トリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.<sup>6</sup>]デカン(VSTCD)のCDCI<sub>3</sub>中の<sup>1</sup>H NMRチャートである。

45

【図2】重合体(2-2)(BMMED/VSTCD)の<sup>1</sup>H NMRチャートである。

【図3】重合体(2-2)のTGA曲線である。

【図4】重合体(2-2)のDSC曲線である。

【図5】重合体(2-2)の紫外-可視吸収スペクトルである。

50

【図6】重合体(2-2)の簡易コーチーの公式によってフィッティングされた屈折率の波長分散である。

【図7】重合体(2-1)(TCDSH/DVS)の<sup>1</sup>H NMRチャートである。

【図8】重合体(2-1)のTGA曲線である。

【図9】重合体(2-1)のDSC曲線である。

【図10】重合体(2-1)の紫外-可視吸収スペクトルである。

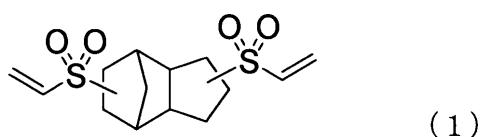
【図11】重合体(2-1)の簡易コーチーの公式によってフィッティングされた屈折率の波長分散である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

本発明の化合物は、下記式(1)で示される、ビス(ビニルスルホン)トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン(VSTCD)(以下、本発明の単量体(1)又はVSTCDということがある)である。

【化3】



【0020】

本発明の単量体(1)は、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン(TCD)部分の硬い構造により、これを単量体の1つとして含有する重合体に優れた熱安定性を付与することができ、高いガラス転移温度を得ることができる。

さらに、スルホン基を有することで、屈折率を高め、アッベ数も高めることが期待できる。

【0021】

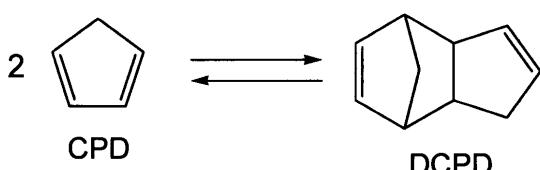
本発明の化合物は、実施例1に記載の方法で容易に製造できる。

出発物質であるジシクロペントジエン(CPD)は、商業的に入手可能である。市販品の例として、例えば、TCI社製のものが挙げられる。

【0022】

ジシクロペントジエン(CPD)は、シクロペントジエン(CPD)が室温においてディールス-アルダーニ量化することにより生成する。

【化4】



【0023】

ジシクロペントジエン(DCPD)を含むトリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン(TCD)の誘導体には、多数の構造異性体が含まれる。endo異性体(endo isomer)及びexo異性体(exo isomer)の両方が存在し得る。上記シクロペントジエン(CPD)のディールス-アルダーニ量化反応では、endo異性体が優先的に得られる。一般的に商業的に入手可能なジシクロペントジエン(DCPD)は、95%以上のエンド体を含有するものである。また、ジシクロペントジエン(DCPD)には下記のように鏡像異性体も存在する。

尚、図中の矢印は、チオール-エン反応において、チオール(例えば、2-メルカプトエタノール)が結合し得る、ジシクロペントジエンの2つの二重結合における4つの可能な反応位置を示す。

【0024】

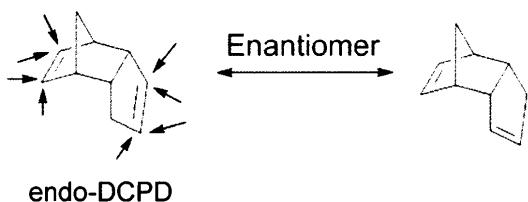
10

20

30

40

## 【化5】



## 【0025】

多種類の異性体の存在は化合物の正確な同定を困難にするが、この無秩序が重合体の溶解性を高めるのに、また、この単量体化合物由来の重合体の複屈折を低下させるのに役に立っていると考えられる。 10

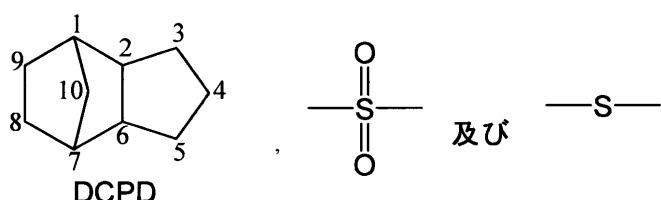
## 【0026】

本発明の単量体(1)は硬い構造を有し、これを単量体の1つとして含む重合体の熱安定性を向上させることができる。また、本発明の単量体(1)は高密度構造を有し、これを単量体の1つとして含む重合体の屈折率を高めると同時にガラス転移温度( $T_g$ )の向上にも寄与する。

## 【0027】

次に、本発明の重合体は、少なくともトリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン構造、スルホン基及びスルフィド基を含み、かつ同一の炭素原子に複数の硫黄原子が結合する場合を含まない繰り返し単位を有することを特徴とする。 20

## 【化6】



## 【0028】

本発明の重合体は、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン部分の硬い構造を反映して、これまでに報告されたPES類( $T_g$ : 50付近)に比べて非常に高いガラス転移温度( $T_g$ )を示す。また、同時に導入されたスルホン基、スルフィド基及びトリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン部分の高密度構造により、熱可塑性樹脂としては、これまでに報告されている樹脂に比べて高屈折率かつ高アッベ数を示す。 30

## 【0029】

本発明の重合体は、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン構造、スルホン基及びスルフィド基を少なくとも含んでいればよく、これらの必須の構成単位以外の任意の構成単位を含んでいてもよい。任意の構成単位としては、例えば、炭素数1~10のアルキレン基等が挙げられる。

## 【0030】

同一の炭素原子に複数の硫黄原子が結合していると、チオアセタール基を構成し、熱安定性が低下するため、好ましくない。同一の炭素原子に複数の硫黄原子が結合しない構造とするために、アルキレン基等の任意の基が硫黄原子の間に位置することが必要である。 40

## 【0031】

本発明の重合体の数平均分子量( $M_n$ )は、通常5,000~100,000の範囲であり、好ましくは10,000~50,000の範囲である。数平均分子量が5,000より小さいと機械特性や熱特性が低下するおそれがあり、逆に100,000より大きいと粘度が高すぎるおそれがある。

## 【0032】

本発明の重合体の分子量分布( $M_w/M_n$ )は、通常1.5~2.5の範囲であり、好ましくは1.6~2.4の範囲である。 50

〔 0 0 3 3 〕

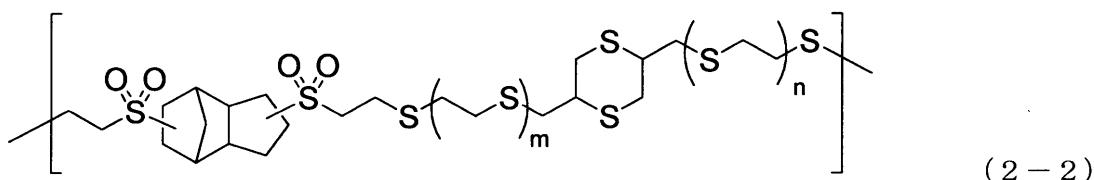
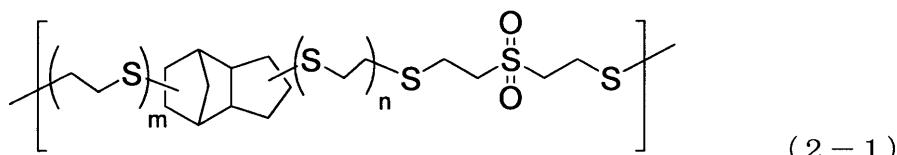
本発明の重合体は、非常にバランスの良い熱特性及び光学特性を有し、特にレンズ材料としての光学適用に好適である。

また、本発明の重合体は、ガラス転移温度が高く、射出成形法によっても成形が可能である。

[ 0 0 3 4 ]

本発明の重合体は、下記式(2-1)及び/又は下記式(2-2)で表される繰り返し単位を有することが好ましい。

【化 7】



〔 0 0 3 5 〕

式(2-1)及び(2-2)中のm及びnは、それぞれ独立して0~10の整数を表し、好ましくは0である。

【 0 0 3 6 】

式(2-1)において、スルフィド基とトリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.<sup>6</sup>]デカン(TCD)との結合位置は、TCDの3位及び4位のうちの一方、及び8位及び9位のうちの一方であるが、重合体中において一律に同じではなく、各組み合わせが混在したものとなる。

【 0 0 3 7 】

式(2-1)及び/又は式(2-2)で表される繰り返し単位を有する重合体は、重合体の繰り返し単位の合計を100モル%としたときに、式(2-1)及び/又は式(2-2)で表される繰り返し単位を、50モル%以上含有していることが好ましく、80モル%以上含有していることがより好ましい。50モル%未満であると、本発明の重合体の特性が十分に發揮されないおそれがある。

[ 0 0 3 8 ]

重合体(2-1)は、実施例3に記載の製造方法によって製造することができる。

重合体(2-1)は、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.6]デカンジチオール(TCDSH)とジビニルスルホン(DVS)とを重合させて得られる。トリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.6]デカンジチオール(TCDSH)は公知化合物であり、例えば、特開2008-63276号公報に記載の方法に従って製造することができる。具体的には合成例2に記載の製造方法によって製造することができる。

[ 0 0 3 9 ]

本発明の重合体の繰り返し単位には、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2</sup>.<sup>6</sup>]デカン構造、スルホン基及びスルフィド基に加え、さらにジチアン環を含むことも好ましい。ジチアン環を含むことにより、さらに屈折率を高めることができる。

[ 0 0 4 0 ]

ジチアン環をさらに含む繰り返し単位を有する本発明の重合体としては、上記式(2-2)で表される繰り返し単位を有するものが挙げられる。

【 0 0 4 1 】

式(2-2)において、スルホン基とトリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン(TCD)との結合位置は、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン(TCD)の3位及

び4位のうちの一方、及び8位及び9位のうちの一方であるが、重合体中において一律に同じではなく、各組み合わせが混在したものとなる。

#### 【0042】

重合体(2-2)は、実施例2に記載の製造方法によって製造することができる。

重合体(2-2)は、本発明の単量体(1)(VSTCD)と、高硫黄含量の2,5-ビス(メルカプトメチル)-1,4-ジチアン(以下、BMMRDということがある)とをマイケル付加重合反応によって重合させて得られる。

BMMRDは、特開平6-192250号公報に記載の方法に従って製造することができる。具体的には合成例1に記載の製造方法によって製造することができる。

#### 【0043】

重合体(2-2)は、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン(TCD)部分の硬い構造を反映して、これまでに報告されたPES類のT<sub>g</sub>が50付近であるのに対し、113と非常に高く、熱安定性に優れている。また、同時に導入されたスルフィド基、スルホン基及びトリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン(TCD)部分の高密度構造により、熱可塑性樹脂としては、高屈折率(1.6322)かつ高アッベ数(45.8)を示す。

#### 【実施例】

#### 【0044】

以下、実施例を挙げて本発明をさらに具体的に説明するが、本発明は、これらの実施例によって何ら限定されるものではない。

#### 【0045】

##### (材料)

ジシクロペニタジエン(TCI社製)、2-メルカプトエタノール(TCI社製)、塩化チオニル(TCI社製)、'-'-アゾビス(イソブチロニトリル)(AIBN、Wako社製)、及びその他の薬品をそのまま使用した。

BMMRDは、Okubo, T.; Kohmoto, S.; Yamamoto, M. J. Appl. Polym. Sci. 1998, 68, 1791-1799.に報告された方法に従って製造したものを用いた。

#### 【0046】

##### (物性の評価方法)

実施例における各分析データ及び図面における各種チャートは下記方法に従って取得した。

##### (1) FT-IRスペクトル

Horiba FT-720スペクトロメーター(Horiba社製)でFT-IRチャートを得た。

#### 【0047】

##### (2) <sup>1</sup>H NMRスペクトル

溶媒としてCDCl<sub>3</sub>又はDMSO-d<sub>6</sub>を用い、対照(0ppm)としてトリメチルシラン(TMS)を用いて、Bruker DPX300Sスペクトロメーター(Bruker社製)で、溶液状態での<sup>1</sup>H NMRスペクトルを記録した。

#### 【0048】

##### (3) 数平均分子量(M<sub>n</sub>)及び重量平均分子量(M<sub>w</sub>)

数平均分子量(M<sub>n</sub>)及び重量平均分子量(M<sub>w</sub>)を、2つのポリスチレンゲルカラム(TSK GELS GMH<sub>HR</sub>-M、東ソー社製)を備えるJASCO PU-2080 Plus(JASCO社製)でのゲルパーキエーションクロマトグラフィー(GPC)で決定した。

0.01MのLiBrを含有するDMFを、標準ポリスチレンサンプルによって校正された流速1.0mL/分の溶媒として用いた。

#### 【0049】

##### (4) 紫外-可視透過率スペクトル

10

20

30

40

50

波長 250 ~ 800 nm の範囲で JASCO V - 560 UV/VIS スペクトロメーター (JASCO 社製) で記録した。

【0050】

(5) 热重量分析 (TGA 曲線)

Seiko EXSTAR 6000 TG/DTA 6300 サーマルアナライザー (Seiko 社製) を用い、10 / 分の加熱速度で熱分析を行った。

【0051】

(6) 示差走査熱量測定 (DSC 曲線)

Seiko EXSTAR 6000 DSC 6200 (Seiko 社製) を用い、窒素雰囲気下、20 / 分の加熱速度で熱分析を行った。

10

【0052】

(7) ポリマーフィルタの屈折率

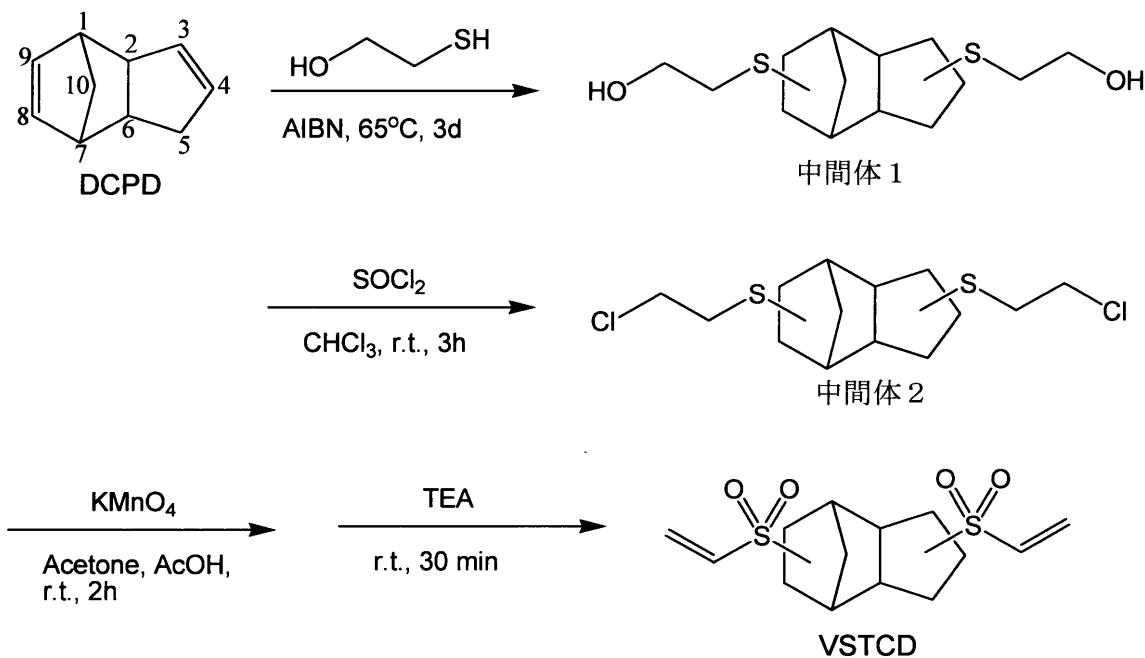
高輝度のハロゲンランプを白色光源として用い、Abbe 屈折計 (Atago 社製、DR-M4) で、単色光フィルムを変えて 486、589 及び 656 nm の波長で測定した。

【0053】

実施例 1

下記合成スキームに従ってビス(ビニルスルホン)トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン (VSTCD) を製造した。

【化 8】



【0054】

(1) ビス(2-ヒドロキシエチルスルファニル)トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン (中間体 1; 異性体混合物) の合成

フラスコにジシクロペンタジエン (2.64 g、20 mmol) を入れ、2-メルカブトエタノール (3.44 g、44 mmol) を氷浴上でゆっくりと加えた。AIBN (0.164 g、1 mmol) を加えた後、溶液を窒素雰囲気下 65 度で 24 時間攪拌した。さらに AIBN (0.164 g、1 mmol) を溶液に加え、65 度で 48 時間攪拌し続けた。

次いで、溶液を室温まで冷却し、5% NaOH 水溶液を加えて未反応の 2-メルカブトエタノールを除去した。混合物をジクロロメタン (DCM) で数回抽出し、集めた有機相を MgSO<sub>4</sub> で乾燥し、溶媒を蒸発させた。

得られた残渣をカラムクロマトグラフィー (シリカゲル、アセトン : DCM = 1 : 5 )

50

で精製し、粘度の高い無色の液体（中間体1）を得た（3.64g、収率60%）。得られた中間体1のFT-IR、<sup>1</sup>H NMR及び元素分析の結果を下記に示す。

#### 【0055】

FT-IR (NaCl, cm<sup>-1</sup>) : 3379 (-OH), 2947 (-CH<sub>2</sub>-), 2870 (-CH-), 1458 (-CH<sub>2</sub>-)

<sup>1</sup>H NMR (300MHz, CDCl<sub>3</sub>, 25, ppm) : δ = 3.82 - 3.67 (t, 4H, CH<sub>2</sub>-OH), 3.22 - 2.87 (m, 2H, CH-S), 2.83 - 2.68 (m, 4H, S-CH<sub>2</sub>), 2.83 - 1.10 (m, 14H)

元素分析：Calcd for C<sub>14</sub>H<sub>24</sub>O<sub>2</sub>S<sub>2</sub> : C, 57.39; H, 8.43.

Found : C, 57.26; H, 8.28

#### 【0056】

(2) ビス(2-クロロエチルスルファニル)トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン（中間体2；異性体混合物）の合成

フラスコに、中間体1（1.15g、4mmol）のCHCl<sub>3</sub>（4mL）溶液を入れ、塩化チオニル（1.0mL、13.8mmol）のCHCl<sub>3</sub>（1mL）溶液を氷浴上でゆっくりと加えた。塩化チオニルの添加完了後、溶液を室温で3時間攪拌した。次いで、反応混合物をNaHCO<sub>3</sub>水溶液でクエンチし、ジクロロメタン（DCM）で抽出した。

粗生成物をカラムクロマトグラフィー（シリカゲル、DCM：ヘキサン = 1 : 2）で精製して、粘稠性の無色の液体（中間体2）を得た（1.04g、収率80%）。得られた中間体2のFT-IR、<sup>1</sup>H NMR及び元素分析の結果を下記に示す。

#### 【0057】

FT-IR (NaCl, cm<sup>-1</sup>) : 2954 (-CH<sub>2</sub>-), 2869 (-CH-), 1442 (-CH<sub>2</sub>-)

<sup>1</sup>H NMR (300MHz, CDCl<sub>3</sub>, 25, ppm) : δ = 3.73 - 3.59 (t, 4H, CH<sub>2</sub>-Cl), 3.27 - 2.77 (m, 6H, CH-S-CH<sub>2</sub>), 2.71 - 1.10 (m, 12H)

元素分析：Calcd for C<sub>14</sub>H<sub>22</sub>Cl<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : C, 51.68; H, 6.82

Found : C, 51.73; H, 6.72

#### 【0058】

(3) ビス(ビニルスルホニル)トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン（VSTCD；異性体混合物）の合成

中間体2（1.00g、3.07mmol）の酢酸（5mL）及びアセトン（5mL）の溶液に、氷浴上で、KMnO<sub>4</sub>（2.14g、13.5mmol）をゆっくりと加えた。

KMnO<sub>4</sub>の添加完了後、混合物を室温で2時間攪拌した。次いで、DCM（50mL）、水及びK<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を加え、残ったKMnO<sub>4</sub>をNa<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>で還元した。褐色の混合物をCelelite（登録商標、Celelite Corporation製）で濾過し、褐色の固体を熱DCMでよく洗浄した。この2相の濾液に、トリエチルアミン（1mL）を加え、30分間激しく攪拌した。脱離反応の完了を薄層クロマトグラフィー（TLC）で確認した後、有機相を集め、希塩酸溶液で洗浄した。

粗生成物をカラムクロマトグラフィー（シリカゲル、アセトン：DCM = 1 : 20）で精製してべたついた白色のペースト（VSTCD）を得た（1.04g、収率80%）。得られたVSTCDのFT-IR、<sup>1</sup>H NMR及び元素分析の結果を下記に示す。

#### 【0059】

FT-IR (KBr, cm<sup>-1</sup>) : 3109 (-CH=CH<sub>2</sub>), 3055 (-CH=CH<sub>2</sub>), 2962 (-CH<sub>2</sub>-), 2884 (-CH-), 1612 (-C=C-), 1458 (-CH<sub>2</sub>-), 1304 (-SO<sub>2</sub>-), 1126 (-SO<sub>2</sub>-)

10

20

30

40

50

<sup>1</sup> H NMR (300 MHz, CDCl<sub>3</sub>, 25 °C, ppm) : δ = 6.67 - 6.55 (m, 2H, CH-CH<sub>2</sub>), 6.50 - 6.39 (m, 2H, CH-CH<sub>2</sub>), 6.25 - 6.16 (m, 2H, CH-CH<sub>2</sub>), 3.58 - 1.42 (m, 14H)  
元素分析: Calcd for C<sub>14</sub>H<sub>20</sub>O<sub>4</sub>S<sub>2</sub>: C, 53.14; H, 6.37  
Found: C, 53.03; H, 6.17

## 【0060】

上記中間体1、2及びVSTCDのCDCl<sub>3</sub>中の<sup>1</sup>HNMRチャートを図1に示す。

中間体1のヒドロキシメチレン基に対応して3.75 ppmに、中間体2のクロロメチレン基に対応して3.66 ppmに、及びVSTCDのビニルスルホン基に対応して6.62、6.45及び6.21 ppmに、特徴的なシグナルが観測された。

また、VSTCDのFT-IRスペクトルでは、3109及び3055 cm<sup>-1</sup>にビニルC-Hの吸収、及び1304及び1126 cm<sup>-1</sup>にスルホン基の吸収を観測した。

## 【0061】

合成例1: 2,5-ビス(メルカプトメチル)-1,4-ジチアン(BMMD)の合成

アリルジスルフィド(10.3 g, 70.2 mmol)と炭酸カルシウム(0.14 g)のジクロロメタン(170 mL)の懸濁溶液に塩化スルフリル(9.5 g, 70.2 mmol)を-30°Cで45分かけて滴下した。滴下終了後、混合溶液を-30°Cで24時間攪拌した。反応終了後、混合溶液を濾別、溶媒を減圧留去し、2,5-ジクロロメチル-1,4-ジチアンの粗生成物を15.4 g得た。得られた2,5-ジクロロメチル-1,4-ジチアンの粗生成物にとチオウレア(10.8 g, 0.142 mmol)のエタノール(47 mL)溶液を1時間加熱還流した。その後、室温まで冷却し、2,5-ジクロロメチル-1,4-ジチアンのイソチウロニウム塩を析出させ濾取した(22.0 g)。

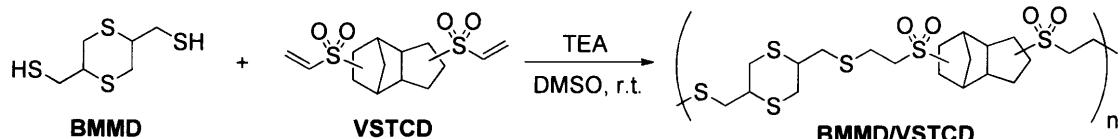
次に、得られた2,5-ジクロロメチル-1,4-ジチアンのイソチウロニウム塩の水懸濁液(63 mL)に水酸化ナトリウム(5.81 g)水溶液(31 mL)を90°Cで滴下した。反応液を1時間加熱還流し、室温まで冷却した。6N塩酸を反応液のpHが2~3になるまで加え、有機層をベンゼンで抽出した。抽出物を水洗、無水硫酸マグネシウムで乾燥させ、減圧蒸留で精製した(7.76 g, 52%収率)。

## 【0062】

実施例2: 重合体(2-2)の製造

重合体(2-2)(BMMD/VSTCD)を、下記反応スキームに従って製造した。

## 【化9】



## 【0063】

合成例1で合成したビス(メルカプトメチル)-1,4-ジチアン(BMMD; 0.5 mmol, 0.106 g)及び実施例1で合成したビス(ビニルスルホン)トリシクロ[5.2.1.0<sub>2,6</sub>]デカン(VSTCD; 0.5 mmol, 0.158 g)のジメチルスルホキシド(DMSO; 1 mL)溶液に、触媒量のトリエチルアミン(TEA)を加え、溶液を室温で24時間攪拌した。得られた粘度の高い液体をメタノール中に注ぎ、生じた沈殿物を回収し、白色粉末のBMMD/VSTCD(重合体(2-2))を得た(0.206 g、収率78%)。

得られた重合体(2-2)のFT-IR、<sup>1</sup>HNMR及び元素分析の結果を下記に示し、<sup>1</sup>HNMRチャートを図2に示す。

## 【0064】

FT-IR(KBr, cm<sup>-1</sup>): 2954(アルキルC-H), 1304(-SO<sub>2</sub>-), 1119(-SO<sub>2</sub>-)

10

20

30

40

50

<sup>1</sup>H NMR (300 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>, 40, ppm) : δ = 3.84 - 3.27 (6H), 3.14 - 2.82 (14H), 2.80 - 1.36 (12H)  
元素分析: Calcd for C<sub>20</sub>H<sub>32</sub>O<sub>4</sub>S<sub>6</sub>: C, 45.42; H, 6.10  
Found: C, 45.09; H, 5.83

### 【0065】

(熱特性の評価)

重合体(2-2)のTGA曲線及びDSC曲線を図3及び4に示す。

得られた重合体(2-2)の分解温度及びガラス転移温度( $T_g$ )によって熱安定性を評価した。一般に、射出成形法によって製造される光学部材は、約100超、好ましくは120超の $T_g$ が必要である。また、射出成形温度での材料の安定性が非常に重要である。TGAによる5%重量減少温度( $T_{5\%}$ )で分解温度を評価し、DSC測定によって $T_g$ を決定した。重合体(2-2)は270付近まで重量減少が無く、高い熱安定性を示した。

$T_{5\%}$ 値は303であり、従来のPES類に匹敵し、PES類の分解がレトロマイケル付加反応で始まり、幾つかの分解が続く、同じ工程を経るであろうことを示している。

また、大気下200の加熱で着色は見られなかった。

### 【0066】

一方、DSC測定において113で重合体(2-2)の明瞭なガラス転移が観察され、VSTCDの異性体構造を反映して結晶性は検出されなかった。重合体(2-2)の $T_g$ 値は、50付近での従来のPES類と比べて大きく改善された。

トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン構造は、環式の縮合構造であるために硬く、これを導入することによりPES類の $T_g$ 値が効果的に高められた。

### 【0067】

(光学特性の評価)

重合体(2-2)の紫外-可視吸収スペクトル及び簡易コーシーの公式によってフィッティングされた屈折率の波長分散を図5及び6に示す。

光学特性、透明性、屈折率、及びアッベ数を紫外-可視吸収スペクトロメーター及びアッベ屈折計によって評価した。膜厚10μmの重合体(2-2)のフィルムの紫外-可視吸収スペクトルを図5に示す。

重合体(2-2)は、従来の高透明PES類と同様に可視領域(>400nm)において高い透明性を示した。400nmにおけるフィルムの透過率は98%（フレネル反射無し）であり、光学適用に好適である。

異性体構造に由来する脂肪族構造及び非晶質性は、ポリマーに無色で高い透明性を与えることがわかる。

重合体(2-2)の589、486及び656nmにおける屈折率、並びにアッベ数を表1にまとめた。このようにして得られた屈折率の波長分散(n)を、下記簡易コーシーの公式を用いてフィッティングした曲線でプロットした（図5）。

$$n = n_0 + D / \lambda^2$$

無限大の波長(n<sub>∞</sub>)での屈折率及び分散係数(D)はそれぞれ1.6028及び7454であった。

重合体(2-2)は、高い屈折率(n<sub>D</sub>=1.6228)と同時に高いアッベ数(v<sub>D</sub>=45.8)を示した。

高い原子屈折を有する硫黄原子及び低い分子分散を有するスルホン基を同時に導入することで、高屈折率で高アッベ数の重合体が得られることがわかる。

### 【0068】

また、下記に示すように、脂肪族、スルフィド及びスルホン基を有する類似の構造、及び同等の硫黄含量(SC)を有している公知の1,4-シクロヘキサンジチオール(CHDT)／ジビニルスルホン(DVS)（特許文献2に記載の重合体）に比べて、重合体(2-2)は、屈折率が高い。これは、トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカンの高密

10

20

30

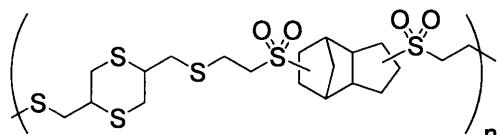
40

50

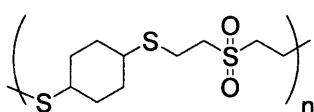
度構造により、分子容積が減少し、それによって重合体の屈折率が高められるものと考えられる。

## 【0069】

## 【化10】



BMMD/VSTCD

 $n_D = 1.6322$   
 $SC = 36.38\%$ 


CHDT/DVS

 $n_D = 1.6022$   
 $SC = 36.10\%$ 

10

## 【0070】

重合体(2-2)の熱特性及び光学特性を表1にまとめた。

## 【表1】

硫黄含量	36.38%	$T_{400\text{ nm}}^d$	98%
$M_n^a$	28,400	$n_D^e$	1.6228
$M_w/M_n$	2.38	$n_F^f$	1.6322
$T_{5\%}^b$	303 °C	$n_C^g$	1.6186
$T_g^c$	113 °C	$\nu_D^h$	45.8

20

<sup>a</sup> : GPC (DMF、ポリスチレン換算)によって決定した。

<sup>b</sup> : 5 % 重量減少温度

<sup>c</sup> : ガラス転移温度

<sup>d</sup> : 400 nmにおける透過率

<sup>e</sup> : 589 nmで測定した屈折率

<sup>f</sup> : 486 nmで測定した屈折率

<sup>g</sup> : 633 nmで測定した屈折率

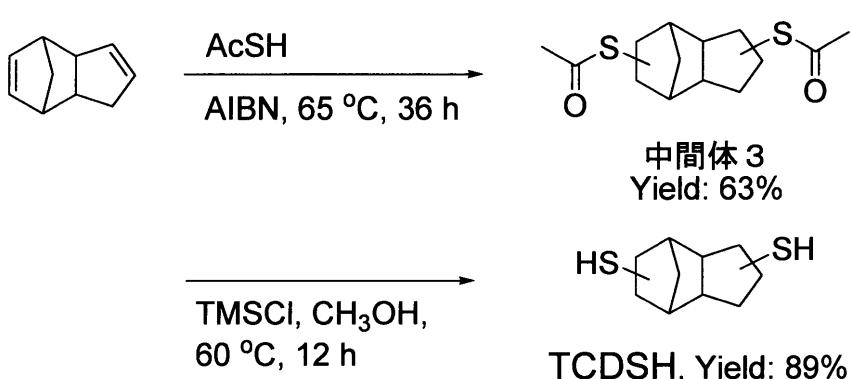
<sup>h</sup> : 式(1)によって算出したアッベ数

## 【0071】

30

合成例2：トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカンジチオール(TCDSH)の合成  
下記合成スキームに従ってトリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカンジチオール(TCDSH)を製造した。

## 【化11】



40

## 【0072】

(1) ビス(アセチルスルファニル)トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン(中間体3;異性体混合物)の合成

ジシクロペンタジエン(2.64 g、20 mmol)を入れたフラスコに、チオ酢酸(4.27 mL、60 mmol)を氷浴上でゆっくりと加えた。AIBN(0.164 g、1 mmol)を加えた後、この溶液を窒素雰囲気下、65 °Cで36時間攪拌した。反応後

50

、減圧下 65 度で未反応のチオ酢酸を除去した。粗生成物をカラムクロマトグラフィー(シリカゲル、DCM：ヘキサン = 2 : 1)で精製し、無色の液体(中間体3)を得た(3.56 g、収率63%)。得られた中間体1のFT-IR及び<sup>1</sup>H NMRの結果を下記に示す。

## 【0073】

FT-IR(NaCl, cm<sup>-1</sup>) : 2954(-CH<sub>2</sub>-), 2870(-CH-), 1689(C=O)

<sup>1</sup>H NMR(300 MHz, CDCl<sub>3</sub>, ppm) : δ = 3.87 - 3.62(2H, -CH-SAc), 2.33 - 2.26(6H, CH<sub>3</sub>-C=O), 2.64 - 1.15(m, 14H)

10

## 【0074】

(2) トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカンジチオール(TCDSH；異性体混合物)の合成

中間体3(1.42 g、5 mmol)とトリメチルシリルクロライド(0.1 mL、0.73 mmol)のメタノール(10 mL)溶液を60度で12時間攪拌した。溶媒を除去した後、粗生成物をカラムクロマトグラフィー(シリカゲル、CHCl<sub>3</sub> : ヘキサン = 1 : 2)で精製し、無色の液体であるTCDSHを得た(0.893 g、収率89%)。得られたTCDSHのFT-IR及び<sup>1</sup>H NMRの結果を下記に示す。

## 【0075】

FT-IR(NaCl, cm<sup>-1</sup>) : 2954(-CH<sub>2</sub>-), 2870(-CH-), 2546(-SH)

20

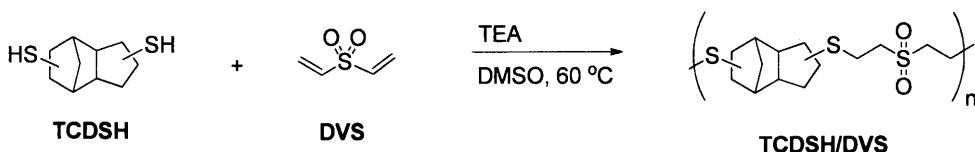
<sup>1</sup>H NMR(300 MHz, CDCl<sub>3</sub>, 25°C, ppm) : δ = 3.25 - 3.00(2H, -CH-SH), 1.75 - 1.71(d, 1H, -SH), 1.64 - 1.60(d, 1H, -SH), 2.68 - 1.22(m, 14H)

## 【0076】

実施例3：重合体(2-1)の製造

重合体(2-1)(TCDSH/DVS)を、下記反応スキームに従って製造した。

## 【化12】



30

## 【0077】

合成例2で合成したトリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカンジチオール(TCDSH; 3 mmol、0.600 g)及びジビニルスルホン(DVS; 3 mmol、0.369 g)のジメチルスルホキシド(DMSO; 1.5 mL)溶液に、触媒量のトリエチルアミン(TEA)を加え、溶液を60度24時間攪拌した。得られた粘度の高い液体をメタノール中に注ぎ、生じた沈殿物を回収し、白色粉末のTCDSH/DVS(重合体(2-1))を得た(0.821 g、収率85%)。

40

得られた重合体(2-1)のFT-IR、<sup>1</sup>H NMR及び元素分析の結果を下記に示し、<sup>1</sup>H NMRスペクトルを図7に示す。

## 【0078】

FT-IR(KBr, cm<sup>-1</sup>) : 2947(アルキルC-H), 2870(アルキルC-H), 1319(-SO<sub>2</sub>-), 1119(-SO<sub>2</sub>-)

<sup>1</sup>H NMR(300 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>, 40, ppm) : δ = 3.51 - 3.37(4H), 2.98 - 2.78(4H), 3.34 - 1.04(14H)

元素分析: Calcd for C<sub>20</sub>H<sub>32</sub>O<sub>4</sub>S<sub>6</sub>: C, 52.79; H, 6.6

9

Found: C, 52.37; H, 6.62

50

## 【0079】

重合体(2-1)の熱特性及び光学特性を、重合体(2-2)と同様に評価し、結果を表2にまとめる。また、重合体(2-1)のTGA曲線、DSC曲線、紫外-可視吸収スペクトル、及び屈折率の波長分散を、図8~11に示す。

## 【表2】

硫黄含量	30.2%	$T_{400\text{ nm}}^{\text{d}}$	98%
$M_n^{\text{a}}$	19,300	$n_D^{\text{e}}$	1.6052
$M_w/M_n$	1.96	$n_F^{\text{f}}$	1.6142
$T_{5\%}^{\text{b}}$	296 °C	$n_C^{\text{g}}$	1.6016
$T_g^{\text{c}}$	74 °C	$\nu_D^{\text{h}}$	48.0

10

表2中の<sup>a</sup>~<sup>h</sup>は、表1と同じである。

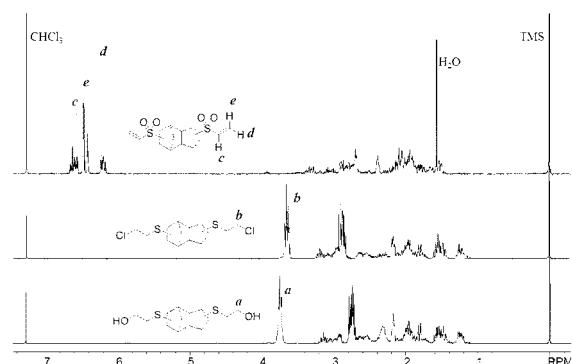
## 【産業上の利用可能性】

## 【0080】

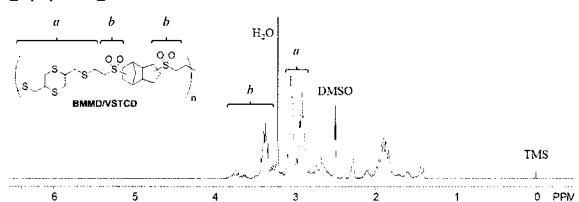
本発明の化合物、ビス(ビニルスルホン)トリシクロ[5.2.1.0<sup>2,6</sup>]デカン(VSTCD)は、光学適用のための単量体として有用である。

本発明の重合体は、非常にバランスの良い熱特性及び光学特性を有しており、特に射出成形によって製造されるレンズの材料としての光学適用に有用である。

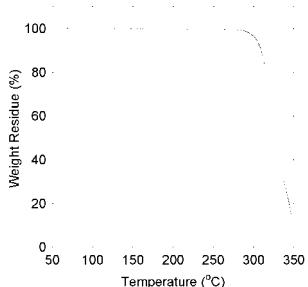
## 【図1】



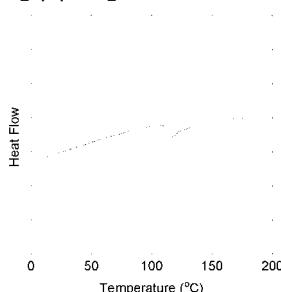
## 【図2】



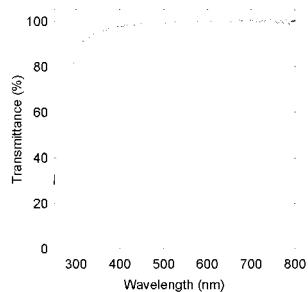
## 【図3】



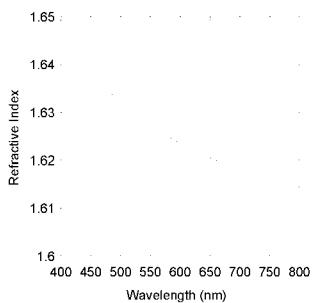
## 【図4】



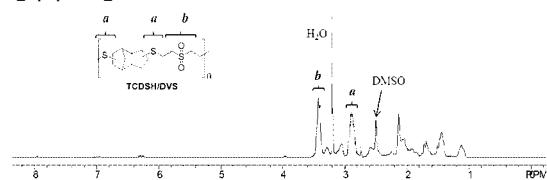
【図5】



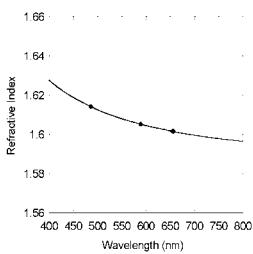
【図6】



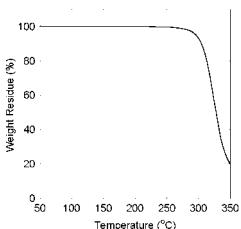
【図7】



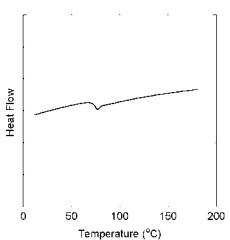
【図11】



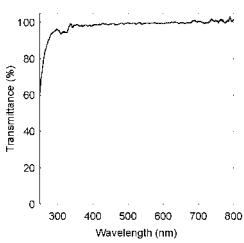
【図8】



【図9】



【図10】



---

フロントページの続き

(72)発明者 安藤 慎治  
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内

(72)発明者 東原 知哉  
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内

(72)発明者 鈴木 康夫  
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内

(72)発明者 菅原 周一  
東京都港区東新橋一丁目9番2号 J S R 株式会社内

F ターム(参考) 4J030 BA04 BA10 BA32 BB07 BC08 BC37 BD21 BF07 BF19 BG25