

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3327356号
(P3327356)

(45)発行日 平成14年9月24日(2002.9.24)

(24)登録日 平成14年7月12日(2002.7.12)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

G 0 2 B 6/13

C 0 8 G 73/10

C 0 8 G 73/10

C 0 8 J 7/00

3 0 5

C 0 8 J 7/00

3 0 5

G 0 2 B 6/12

M

請求項の数 3 (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平6-71282

(22)出願日 平成6年3月17日(1994.3.17)

(65)公開番号 特開平7-92338

(43)公開日 平成7年4月7日(1995.4.7)

審査請求日 平成11年11月8日(1999.11.8)

(31)優先権主張番号 特願平5-82516

(32)優先日 平成5年3月18日(1993.3.18)

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(31)優先権主張番号 特願平5-178574

(32)優先日 平成5年6月28日(1993.6.28)

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(73)特許権者 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 佐々木 重邦

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

日本電信電話株式会社内

(72)発明者 丸尾 容子

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

日本電信電話株式会社内

(72)発明者 玉村 敏昭

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

日本電信電話株式会社内

(74)代理人 100078503

弁理士 中本 宏 (外1名)

審査官 日夏 貴史

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 フッ素化ポリイミド光導波路及びその製造方法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 電子線照射により屈折率を制御して所定の値に定めたフッ素化ポリイミドよりなるコアと、前記コアに接し、前記コアの屈折率より低い屈折率を有するクラッドよりなることを特徴とするフッ素化ポリイミド光導波路。

【請求項2】 フッ素化ポリイミドよりなるコアと、コアより屈折率の低い屈折率を有するクラッドから形成されるフッ素化ポリイミド光導波路の製造方法において、フッ素化ポリイミドよりなるコアをマスクを通した電子線照射で屈折率を増加させることにより形成することを特徴とするフッ素化ポリイミド光導波路の製造方法。

【請求項3】 フッ素化ポリイミドよりなるコアと、コアより屈折率の低い屈折率を有するクラッドから形成されるフッ素化ポリイミド光導波路の製造方法において、

2

フッ素化ポリイミドよりなるコアを電子線描画で屈折率を増加させることにより形成することを特徴とするフッ素化ポリイミド光導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、高分子光導波路及びその製造方法に関し、特にコア層として電子線照射により屈折率を制御したフッ素化ポリイミドを用いたフッ素化ポリイミド光導波路及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】低損失光ファイバの開発による光通信システムの実用化に伴い、種々の光通信用部品の開発が望まれている。またこれら光部品を高密度に実装する光配線技術、特に光導波路技術の確立が望まれている。一般に、光導波路には、光損失が小さい、製造が容易、コア

とクラッドの屈折率差を制御できる、耐熱性に優れている、等の条件が要求される。低損失な光導波路としては石英系が主に検討されている。光ファイバで実証済のように石英は光透過性が極めて良好であるため導波路とした場合も波長が $1.3\ \mu\text{m}$ において $0.1\ \text{dB/cm}$ 以下の低光損失化が達成されている。しかしその光導波路作製に長時間を必要とする、作製時に高温が必要である、大面積化が困難であるなどの製造上の問題点がある。これに対してポリメチルメタクリレート (PMMA) などの高分子光導波路は低い温度で成形が可能であり、低価格が期待できるなどの長所があるが、耐熱性に若干の問題がある。そのようなことから耐熱性に優れた高分子光導波路の実現が望まれていた。一方耐熱性に優れているポリイミドは電子部品の絶縁膜、フレキシブルプリント配線板などの電子材料として多く用いられているが、これまで光導波路などの光学部品への適用についての実績はほとんどない。このような観点に立ち、本発明者らは光導波路に適用可能なポリイミド光学材料について研究開発を進めてきた。ポリイミドを光学材料として適用していく上で光の透過性に優れていること、屈折率を自由に制御できることの二点が特に重要である。本発明者らは特開平 3 - 7 2 5 2 8 号公報で透明なフッ素化ポリイミドを明らかにしている。更に特開平 4 - 8 7 3 4 号公報ではこのフッ素化ポリイミドを共重合することにより例えば光導波路の形成に必要な屈折率制御が可能であることを明らかにしている。またこのフッ素化ポリイミドを用いた光導波路については特開平 4 - 9 8 0 7 号、同 4 - 2 3 5 5 0 5 号、同 4 - 2 3 5 5 0 6 号各公報で明らかにしている。これらの光導波路において光を通す役割を持つコアと光を閉じ込める役割を持つクラッドの間の屈折率差の制御は、ポリイミドに含有するフッ素の含量を調節して行っている。すなわちコア用とクラッド用の屈折率の異なる 2 種類のフッ素化ポリイミドを使用している。そのためコアとクラッドの間の熱的な特性が異なる、又は複屈折が異なるなどある種の光導波路において問題となることもある。またもっと根本的なことは屈折率の異なる二つのポリイミドを用いなくてはならないことである。一方、従来のポリイミドに代表される高分子光導波路の製造方法は、石英光導波路の作製プロセスで用いられるリアクティブ イオン エッチング (RIE) を用いる方法が主流であるが、作製工程が多いという欠点があった。無機材料ではなく高分子材料特有の性質を利用した簡便な光導波路の作製方法が望まれている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述したコアとクラッドとの熱的特性の違いや、複屈折の違いから生じる問題を解決した高分子光導波路及び製造工程が簡便な高分子光導波路の製造方法を提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明を概説すれば、本発明の第 1 の発明のフッ素化ポリイミド光導波路は、電子線照射により屈折率を制御して所定の値に定めたフッ素化ポリイミドよりなるコアと、前記コアに接し、前記コアの屈折率より低い屈折率を有するクラッドよりなることを特徴とする。第 2 の発明の高分子光導波路の製造方法は、フッ素化ポリイミドよりなるコアと、コアより屈折率の低い屈折率を有するクラッドから形成されるフッ素化ポリイミド光導波路の製造方法において、フッ素化ポリイミドよりなるコアをマスクを通した電子線照射で屈折率を増加させることにより形成することを特徴とする。第 3 の発明の高分子光導波路の製造方法は、フッ素化ポリイミドよりなるコアと、コアより屈折率の低い屈折率を有するクラッドから形成されるフッ素化ポリイミド光導波路の製造方法において、フッ素化ポリイミドよりなるコアを電子線描画で屈折率を増加させることにより形成することを特徴とする。

【0005】前記のような状況にかんがみ、本発明者らは鋭意検討を行った結果コアとして電子線照射により屈折率を制御したフッ素化ポリイミドを用いることにより上記の高分子光導波路の問題点を解決でき、また電子線照射、特に電子線描画を用いることにより製造工程が簡便なフッ素化ポリイミド光導波路の製造方法を実現できることを見出し本発明を完成するに至った。

【0006】前記の構成とすることにより、本発明の高分子光導波路は、コアとクラッドの熱的特性の違いや、複屈折の違いがほとんどなく、また 1 種類の高分子で導波路が形成できるなど従来の問題は解消できた。更に、本発明の高分子光導波路の製造方法は、コアの形成が容易になり製造工程が簡略化された。

【0007】以下、本発明を図面を使って説明する。図 1 は、本発明の第 1 の発明を説明するもので、フッ素化ポリイミド層が 1 層のみでコアが左右方向で挟まれている構造のフッ素化ポリイミド光導波路の一実施例を示す断面図である。図 2 は、本発明の第 1 の発明を説明するもので、1 種類のフッ素化ポリイミドでできている埋め込み型フッ素化ポリイミド光導波路の一実施例を示す断面図である。図 3 は、本発明の第 2 の発明を説明するもので、コアをマスクを通して電子線照射により形成するフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。図 4 は、本発明の第 3 の発明を説明するもので、コアを電子線描画により形成するフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。図 5 は、異なる 2 種類の高分子による 2 層構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一例を示す図である。図 6 は、図 5 に示す 2 層構造のフッ素化ポリイミド光導波路の上部に高分子層を形成した埋め込み構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一例を示す図である。図 7 は、3 層の高分子層を形成した後電子線を描画

して作製する埋め込み構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一例を示す図である。図 8 は、図 7 で示した製造工程で作製された埋め込み構造のフッ素化ポリイミド光導波路の断面図である。図 9 は、1 種類のフッ素化ポリイミドによる 2 層構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一例を示す図である。図 10 は、1 種類のフッ素化ポリイミドによる埋め込み構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一例を示す図である。図 11 は、電子線を照射する工程の前工程として導電性膜を形成する工程と、後工程として導電性膜を除去する工程を含むフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一例を示す図である。図 12 は、従来の R I E を用いた埋め込み構造の高分子光導波路の製造工程を示す図である。

【0008】以下、図面を参照して本発明を具体的に説明する。図 1 は、高分子層が 1 層のみでコア 2 が左右方向でクラッド 1 に挟まれている構造の高分子光導波路の断面図である。ここで用いられているコア 2 は、電子線照射により屈折率が制御されたフッ素化ポリイミドより成る。上下方向についてはコアに比較して屈折率の小さなものであれば良く、例えば空気でも良い。また図 2 は、フッ素化ポリイミドよりなるコア 2 がクラッド 1 ですべて覆われた 1 種類の高分子だけでできている埋め込み型フッ素化ポリイミド光導波路の断面図である。いずれの高分子光導波路においてもコア 2 に接触しているクラッド 1 の高分子は、本質的にコア 2 の材料と同じ材料であるため熱的特性や複屈折性などが同じであり従来の高分子光導波路で問題となっていた欠点を解決できる。後記する本発明において、クラッドに用いる高分子は電子線照射により屈折率を制御できるすべての高分子を使用できる。例えばポリイミド、エポキシ樹脂、ポリアーテルスルホン、ポリメチルメタクリレート、ポリカーボネート、シリコン樹脂、ポリベンゾシクロブテンなどが挙げられる。これらのプラスチックは 1 種類単独で又は数種類組合せて用いても良い。また光導波路特性に悪影響を及ぼさない限り、必要に応じて種々の配合材を添加してもよい。今後高分子光導波路には耐熱性が要求されるようになってくるため、耐熱性に優れた高分子が好適である。上記の中ではポリイミド、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、ポリベンゾシクロブテンなどが挙げられるが、その中でも特に耐熱性、信頼性が要求される半導体の絶縁膜として使用実績のあるポリイミドが好適である。

【0009】本発明に用いるポリイミドは電子線照射により屈折率を制御できるすべてのポリイミドを使用できる。例えば以下に示すテトラカルボン酸又はその誘導体とジアミンから製造されるポリイミド、ポリイミド共重合体、ポリイミド混合物の中で屈折率を制御できるポリイミドである。

【0010】テトラカルボン酸並びにその誘導体として

の酸無水物、酸塩化物、エステル化物等としては次のようなものが挙げられる。ここではテトラカルボン酸としての例を挙げる。(トリフルオロメチル)ピロメリット酸、ジ(トリフルオロメチル)ピロメリット酸、ジ(ヘプタフルオロプロピル)ピロメリット酸、ペンタフルオロエチルピロメリット酸、ビス{3, 5 - ジ(トリフルオロメチル)フェノキシ}ピロメリット酸、2, 3, 3', 4' - ピフェニルテトラカルボン酸、3, 3', 4, 4' - テトラカルボキシジフェニルエーテル、2, 3', 3, 4' - テトラカルボキシジフェニルエーテル、3, 3', 4, 4' - ベンゾフェノンテトラカルボン酸、2, 3, 6, 7 - テトラカルボキシナフタレン、1, 4, 5, 7 - テトラカルボキシナフタレン、1, 4, 5, 6 - テトラカルボキシナフタレン、3, 3', 4, 4' - テトラカルボキシジフェニルメタン、3, 3', 4, 4' - テトラカルボキシジフェニルスルホン、2, 2 - ビス(3, 4 - ジカルボキシフェニル)プロパン、2, 2 - ビス(3, 4 - ジカルボキシフェニル)ヘキサフルオロプロパン、5, 5' - ビス(トリフルオロメチル) - 3, 3', 4, 4' - テトラカルボキシビフェニル、2, 2', 5, 5' - テトラキス(トリフルオロメチル) - 3, 3', 4, 4' - テトラカルボキシビフェニル、5, 5' - ビス(トリフルオロメチル) - 3, 3', 4, 4' - テトラカルボキシジフェニルエーテル、5, 5' - ビス(トリフルオロメチル) - 3, 3', 4, 4' - テトラカルボキシベンゾフェノン、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ベンゼン、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}(トリフルオロメチル)ベンゼン、ビス(ジカルボキシフェノキシ)(トリフルオロメチル)ベンゼン、ビス(ジカルボキシフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ベンゼン、ビス(ジカルボキシフェノキシ)テトラキス(トリフルオロメチル)ベンゼン、3, 4, 9, 10 - テトラカルボキシペリレン、2, 2 - ビス{4 - (3, 4 - ジカルボキシフェノキシ)フェニル}プロパン、ブタンテトラカルボン酸、シクロペンタンテトラカルボン酸、2, 2 - ビス{4 - (3, 4 - ジカルボキシフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ビフェニル、ビス{(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ビス(トリフルオロメチル)ジカルボキシフェノキシ}ジフェニルエーテル、ビス(ジカルボキシフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ビフェニル、ビス(3, 4 - ジカルボキシフェニル)ジメチルシラン、1, 3 - ビス(3, 4 - ジカルボキシフェニル)テトラメチルジシロキサン、ジフルオロピロメリット酸、1, 4 - ビス(3, 4 - ジカルボキシトリフルオロフェノキシ)テトラフルオロベンゼン、1, 4 - ビス(3, 4 - ジカルボキシトリフルオロフェ

ノキシ) オクタフルオロビフェニルなどである。

【0011】ジアミンとしては、例えば次のものが挙げられる。m - フェニレンジアミン、2, 4 - ジアミノトルエン、2, 4 - ジアミノキシレン、2, 4 - ジアミノデュレン、4 - (1H, 1H, 11H - エイコサフルオロウンデカノキシ) - 1, 3 - ジアミノベンゼン、4 - (1H, 1H - パーフルオロ - 1 - ブタノキシ) - 1, 3 - ジアミノベンゼン、4 - (1H, 1H - パーフルオロ - 1 - ヘプタノキシ) - 1, 3 - ジアミノベンゼン、4 - (1H, 1H - パーフルオロ - 1 - オクタノキシ) - 1, 3 - ジアミノベンゼン、4 - ペンタフルオロフェノキシ - 1, 3 - ジアミノベンゼン、4 - (2, 3, 5, 6 - テトラフルオロフェノキシ) - 1, 3 - ジアミノベンゼン、4 - (4 - フルオロフェノキシ) - 1, 3 - ジアミノベンゼン、4 - (1H, 1H, 2H, 2H - パーフルオロ - 1 - ヘキサノキシ) - 1, 3 - ジアミノベンゼン、4 - (1H, 1H, 2H, 2H - パーフルオロ - 1 - ドデカノキシ) - 1, 3 - ジアミノベンゼン、p - フェニレンジアミン、2, 5 - ジアミノトルエン、2, 3, 5, 6 - テトラメチル - p - フェニレンジアミン、2, 5 - ジアミノベンゾトリフルオリド、ビス(トリフルオロメチル)フェニレンジアミン、ジアミノテトラ(トリフルオロメチル)ベンゼン、ジアミノ(ペンタフルオロエチル)ベンゼン、2, 5 - ジアミノ(パーフルオロヘキシル)ベンゼン、2, 5 - ジアミノ(パーフルオロブチル)ベンゼン、ベンジジン、2, 2' - ジメチルベンジジン、3, 3' - ジメチルベンジジン、3, 3' - ジメトキシベンジジン、2, 2' - ジメトキシベンジジン、3, 3', 5, 5' - テトラメチルベンジジン、3, 3' - ジアセチルベンジジン、2, 2' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノビフェニル、オクタフルオロベンジジン、3, 3' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノビフェニル、4, 4' - ジアミノジフェニルエーテル、4, 4' - ジアミノジフェニルメタン、4, 4' - ジアミノジフェニルスルホン、2, 2 - ビス(p - アミノフェニル)プロパン、3, 3' - ジメチル - 4, 4' - ジアミノジフェニルエーテル、3, 3' - ジメチル - 4, 4' - ジアミノジフェニルメタン、1, 2 - ビス(アニリノ)エタン、2, 2 - ビス(p - アミノフェニル)ヘキサフルオロプロパン、1, 3 - ビス(アニリノ)ヘキサフルオロプロパン、1, 4 - ビス(アニリノ)オクタフルオロブタン、1, 5 - ビス(アニリノ)デカフルオロペンタン、1, 7 - ビス(アニリノ)テトラデカフルオロヘブタン、2, 2' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノジフェニルエーテル、3, 3' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノジフェニルエーテル、3, 3', 5, 5' - テトラキス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノジフェニルエー

- ジアミノベンゾフェノン、4, 4' - ジアミノ - p - テルフェニル、1, 4 - ビス(p - アミノフェニル)ベンゼン、p - ビス(4 - アミノ - 2 - トリフルオロメチルフェノキシ)ベンゼン、ビス(アミノフェノキシ)ビス(トリフルオロメチル)ベンゼン、ビス(アミノフェノキシ)テトラキス(トリフルオロメチル)ベンゼン、4, 4' - ジアミノ - p - クォーターフェニル、4, 4' - ビス(p - アミノフェノキシ)ビフェニル、2, 2 - ビス{4 - (p - アミノフェノキシ)フェニル}プロパン、4, 4' - ビス(3 - アミノフェノキシフェニル)ジフェニルスルホン、2, 2 - ビス{4 - (4 - アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2 - ビス{4 - (3 - アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2 - ビス{4 - (2 - アミノフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2 - ビス{4 - (4 - アミノフェノキシ) - 3, 5 - ジメチルフェニル}ヘキサフルオロプロパン、2, 2 - ビス{4 - (4 - アミノフェノキシ) - 3, 5 - ジトリフルオロメチルフェニル}ヘキサフルオロプロパン、4, 4' - ビス(4 - アミノ - 2 - トリフルオロメチルフェノキシ)ビフェニル、4, 4' - ビス(4 - アミノ - 3 - トリフルオロメチルフェノキシ)ビフェニル、4, 4' - ビス(4 - アミノ - 2 - トリフルオロメチルフェノキシ)ジフェニルスルホン、4, 4' - ビス(3 - アミノ - 5 - トリフルオロメチルフェノキシ)ジフェニルスルホン、2, 2 - ビス{4 - (4 - アミノ - 3 - トリフルオロメチルフェノキシ)フェニル}ヘキサフルオロプロパン、ビス{(トリフルオロメチル)アミノフェノキシ}ビフェニル、ビス{(トリフルオロメチル)アミノフェノキシ}フェニル}ヘキサフルオロプロパン、ジアミノアントラキノン、1, 5 - ジアミノナフタレン、2, 6 - ジアミノナフタレン、ビス{2 - [(アミノフェノキシ)フェニル]ヘキサフルオロイソプロピル}ベンゼン、ビス(2, 3, 5, 6 - テトラフルオロ - 4 - アミノフェニル)エーテル、ビス(2, 3, 5, 6 - テトラフルオロ - 4 - アミノフェニル)スルフィド、1, 3 - ビス(3 - アミノプロピル)テトラメチルジシロキサン、1, 4 - ビス(3 - アミノプロピルジメチルシリル)ベンゼン、ビス(4 - アミノフェニル)ジエチルシラン、1, 3 - ジアミノテトラフルオロベンゼン、1, 4 - ジアミノテトラフルオロベンゼン、4, 4' - ビス(テトラフルオロアミノフェノキシ)オクタフルオロビフェニル等がある。

【0012】ポリイミドに電子線を照射した時の屈折率の増加を調べたところ、通常のポリイミドに比較して化学構造中にフッ素が結合しているフッ素化ポリイミドがより屈折率増加の割合が大きいたことが明らかとなった。したがってポリイミドの中ではフッ素化ポリイミドが好適である。

【0013】更にポリイミドの屈折率増加の原因について

て鋭意検討を行った結果、主に二つの原因によるものと推定するに至った。一つは、電子線照射によるポリイミドの体積変化に基づく密度増加であり、もう一つはフッ素の脱離によるものである。二つのうち屈折率増加の効果の大きいのはフッ素の脱離であると推定される。X線光電子分光分析法により電子線照射前後のフッ素化ポリイミドのフッ素含量を測定したところ、照射後においてフッ素含量の減少が確認された。またフッ素化ポリイミドに電子線を照射した時に発生するイオンをマスペクトルで評価したところフッ素ガスやトリフルオロメチル基に基づくイオンが確認された。これらの事実からフッ素の脱離が屈折率増加の大きな原因となっていると推定できる。既に明らかなように同一骨格の高分子において、フッ素の導入は屈折率の低減に極めて効果があり、フッ素含量を変化させることによって屈折率を制御することは、ポリイミドに限らず、エポキシ樹脂、PMM Aなどでも明らかにされている。フッ素化ポリイミドを例として電子線照射によるフッ素脱離に基づく屈折率増加が明らかになったが、エポキシ樹脂、PMM Aなど他の高分子においてもフッ素を含むものは同様の原理で電子線照射によるフッ素脱離に基づく屈折率増加が起ると考えられる。したがって本発明の高分子としてはフッ素を含有する高分子を用いることが好適であると考え

【0014】上述した図2に示す1種類の高分子だけでできている埋め込み型フッ素化ポリイミド光導波路は、従来のRIEを用いる方法を併用すると以下に述べる製造方法によって製造される。まずシリコンなどの基板上にフッ素化ポリアミド酸溶液をスピンコートした後加熱キュアし、フッ素化ポリイミドフィルムを得る。次にこれに屈折率が所定の値になるように電子線を照射する。このフィルムをコア層とする。次にこのコア層の上に同じポリアミド酸溶液をスピンコートした後加熱キュアし、シリコン基板からはがし、2層構造のポリイミドフィルムを得る。このポリイミドフィルムを電子線照射を行ったコア層を上面にシリコン基板に密着させる。次にRIEを用いた通常のエッチング方法により、所定寸法のコアを形成する。そして最後に上部クラッドとして同じポリアミド酸溶液をスピンコートした後加熱キュアし、埋め込み型光導波路を得る。

【0015】光導波路構造としてはスラブ型、リッジ型、その他一般に製造されている種々の光導波路構造を製造することが可能である。また光伝播モードとしてシングルモード型、マルチモード型ともコアとクラッドの屈折率差、コア寸法をコントロールすることにより、製造が可能である。

【0016】RIEを用いる光導波路の製造方法では、作製工程が多く製造が容易ではない。そこで電子線照射だけを用いてRIE加工を用いない光導波路の製造方法が必要になる。その一つとして高分子に電子線を照射す

る際にコア寸法の切り込みをいれた金属マスク等を用いて行う方法が考えられる。その作製工程の一例を図3に示す。基板10上にコア層用の高分子膜11を形成する。この上にコアと同じ寸法を空けたマスク12を搭載する。次にこのマスクを通して電子線を照射し、コア13を得る。最後にマスク12を除去して高分子光導波路を得る。このようにマスクを通して電子線を照射することにより簡便な工程で高分子光導波路を得ることができる。なお、符号11'はコアを含むクラッドの高分子膜を意味する。

【0017】RIE加工を用いない光導波路のもう一つの製造方法としてはマスクを使わず電子線を直接描画する方法が考えられる。その製造工程の一例を図4に示す。基板10上にコア層用の高分子膜11を形成する。これに所定のコア寸法になるように電子線を描画することによりコア13が得られ、高分子光導波路を製造できる。電子線を高分子膜に直接描画して光導波路を製造する方法は、RIEを用いた製造法に比較し製造工程を大幅に簡略化できると共に、マスクを通して電子線を照射する方法に比較しても工程を簡略化できる利点がある。

【0018】図5に異なる2種類の高分子による2層構造の高分子光導波路の製造工程の一例を示す。基板10の上に下部クラッドとなる高分子膜14、コア層となる高分子膜11を形成する。その後マスクを用いて、又は描画法により電子線を照射し、コア13を形成する。このようにして電子線照射で屈折率を制御したコアを持つ2層構造の高分子光導波路が得られる。

【0019】図6は、図5に示す2層構造の高分子光導波路の上部に高分子層を形成した埋め込み構造の高分子光導波路の製造工程を示す図である。基板10の上に下部クラッドとなる高分子膜14、コア層となる高分子膜11を形成する。その後マスクを用いて、又は描画法により電子線を照射し、コア13を形成する。更にその上に上部クラッドとなる高分子膜15を形成する。このようにして電子線照射で屈折率を制御したコアを持つ3層構造の高分子光導波路が得られる。

【0020】図7は、3層の高分子層を形成した後電子線を描画して作製する埋め込み構造の高分子光導波路の製造工程を示す図である。基板10の上に下部クラッドとなる高分子膜14、下部クラッドよりも屈折率の大きなコア層となる高分子膜11、コア層よりも屈折率の小さな上部クラッドとなる高分子膜15を形成する。その後マスクを用いて、又は描画法により電子線を照射し、コア13を有する埋め込み構造の高分子光導波路が得られる。この高分子光導波路の断面図が図8である。上部クラッドの高分子の屈折率を n_1 、コア層の高分子の屈折率を n_2 、下部クラッドの高分子の屈折率を n_3 とすると、 $n_1 < n_2$ 、 $n_3 < n_2$ である。これに電子線を照射することにより生じる屈折率変化をそれぞれ Δn_1 、 Δn_2 、 Δn_3 とすると16の領域の屈折率は n

3、17は $n_3 + \Delta n_3$ 、18は n_3 、19は n_2 、20は n_1 、21は $n_1 + \Delta n_1$ 、22は n_1 、23は n_2 、24は $n_2 + \Delta n_2$ となる。電子線照射によって生じる屈折率変化の Δn_1 、 Δn_2 、 Δn_3 のそれぞれの差($\Delta n_1 - \Delta n_2$ 、 $\Delta n_2 - \Delta n_3$ 、 $\Delta n_3 - \Delta n_1$)を、元の材料間の屈折率差よりも小さい値になるように材料及び照射条件を選択することにより24の領域が屈折率の最も大きいコアとなって光が閉じ込められて伝播する。図7及び図8は3層構造について説明したが更に多層の導波路についても同様に説明することができる。

【0021】図9は、1種類の高分子による2層構造の高分子光導波路の製造工程を示す図である。基板10の上に下部クラッドとなるフッ素化ポリイミド膜14を形成する。その後マスクを用いて、又は描画法により電子線を照射し、コア13を形成する。このようにして1種類の高分子による2層構造の高分子光導波路を得る。図10は、1種類の高分子による埋め込み構造の高分子光導波路の製造工程を示す図である。基板10の上に下部クラッドとなるフッ素化ポリイミド膜14を形成する。その後マスクを用いて、又は描画法により電子線を照射し、コア13を形成する。この上に上部クラッドとなる高分子膜15を形成し、1種類の高分子による埋め込み構造の高分子光導波路を得る。1種類の高分子による高分子光導波路のコア深さは照射する電子線のエネルギーで制御することが可能である。

【0022】図11は、電子線を照射する工程の前工程として導電性膜を形成する工程と、後工程として導電性膜を除去する工程を含むフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。図10に示した1種類の高分子による埋め込み構造の高分子光導波路を例にとって説明する。基板10の上に下部クラッドとなるフッ素化ポリイミド膜14を形成後、導電性膜25を形成する。その後マスクを用いて、又は描画法により電子線を照射し、コア13を形成する。導電性膜25を除去した後上部クラッドとなる高分子膜15を形成し、1種類の高分子による埋め込み構造の高分子光導波路を得る。この製造工程の目的は、高分子のような絶縁物に電子線を照射すると、高分子膜が帯電し、電子ビームのぶれを起こす恐れがあるが、これを防止するためのものである。導電性膜の材料としては、帯電した静電気を逃す程度の導電性があるものならすべて良く、例えばアルミニウム、金、銀、銅などの金属、インジウム・チン・オキサイドなどの金属酸化物、有機導電性化合物などが挙げられる。また膜の形状は、帯電した静電気を逃す構造なら良く、全面に膜を形成する方法、メッシュ状、一部分に形成する方法などがある。

【0023】図12は、従来のRIEを用いた埋め込み構造の高分子光導波路の製造工程を示す図である。基板10の上に下部クラッドとなる高分子膜14を形成後、

コア層となる高分子膜11を形成する。その後マスク材料26を形成し、フォトリソプロセスによりコア寸法にエッチングしたマスク26'を得る。このマスク26'をマスクとしてRIEによりコア層11をエッチングしてコア13を得る。次にマスク26'を除去した後上部クラッドとなる高分子膜15を形成し、埋め込み型高分子光導波路が得られる。

【0024】以上述べてきたように本発明の電子線を用いる高分子光導波路の作製方法は、従来のRIEを用いる高分子光導波路の作製方法に比較して作製工程が少ないという顕著な効果がある。また電子線照射により屈折率を制御して所定の値に定めた高分子よりなるコアと前記コアに接し、前記コアの屈折率より低い屈折率を有するクラッドよりなる本発明の高分子光導波路は、1種類の高分子だけで高分子光導波路が作製でき、しかも本質的に同一材料のため熱的特性が異なる、複屈折が異なるなどの問題が起こらないという利点がある。

【0025】なお本発明の高分子光導波路及びその製造方法は、更に多くのバリエーションが考えられる。電子線を照射する高分子材料の前処理を種々行うことも可能である。例えばある物質に充満された雰囲気内に置き、電子線を照射し、電子線照射効果を顕著にすることもできる。また電子線照射の雰囲気としては真空中でも良いし、大気中でも良い。またある特殊の雰囲気中でも良い。

【0026】高分子光導波路は、基板上に形成しても良いが、下部クラッドの高分子フィルム自体を基板として利用することも可能である。また基板上に形成した光導波路をはく離してフィルム光導波路とすることも可能である。光導波路の形状は、直線、曲線、折れ曲がり、S字形、テーパ、分岐、交差、方向性結合器、2モード導波路結合器、グレーティング等自由に設定できる。またコアの幅、深さも自由に設定でき、用途によってはシングルモード、マルチモードタイプとも可能である。本発明においては電子線照射を必須要件としているが、同様の発想で高分子の屈折率を変え得るものとして、電子線以外に例えば紫外線、レーザー光、 γ 線、陽子線等を照射することも可能である。この場合本発明と同様の方法で高分子光導波路が得られることは、本発明から容易に類推できる。

【0027】

【実施例】以下、実施例を用いて本発明を更に詳しく説明する。なお、本実施例では高分子としてより好適な材料であるフッ素化ポリイミドを用い、数限りなく製造できる高分子光導波路のほんの一部について説明するが、本発明は本実施例に限定されるものではないことは、既に述べてきたことから明らかである。

【0028】実施例1

三角フラスコに2、2-ビス(3,4-ジカルボキシフェニル)ヘキサフルオロプロパン二無水物88.8g

(0.2 mol) と 2, 2' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノビフェニル 64.0 g (0.2 mol) 及び N, N - ジメチルアセトアミド 1000 g を加えた。この混合物を窒素雰囲気下、室温で 3 日間かくはんし、濃度約 15 wt % のポリアミド酸溶液を得た。このポリアミド酸溶液をシリコンウェハ上にスピンコートした後オープン中で 70 で 2 時間、160 で 1 時間、250 で 30 分、380 で 1 時間加熱し、イミド化を行い、厚さ 10 µm のポリイミドフィルムを得た。このフィルムの波長 1.3 µm での屈折率を測定した結果、フィルム面内方向の屈折率 (TE) は 1.521、フィルム面に垂直な方向の屈折率 (TM) は 1.523 であった。また熱膨張係数は 8.2×10^{-5} 、ガラス転移温度は 335 であった。このシリコン基板上のポリイミドフィルムに 400 keV のエネルギーの電子線を、室温で総照射量が $5 \times 10^{15} \text{ e/cm}^2$ になるように約 30 分間照射した。このポリイミドフィルムの屈折率を測定した結果 TE は 1.526、TM は 1.517 であった。また熱膨張係数は 8×10^{-5} 、ガラス転移温度は 330 であった。この電子線照射ポリイミド上に同じポリアミド酸溶液をスピンコートした後オープン中で 70 で 2 時間、160 で 1 時間、250 で 30 分、380 で 1 時間加熱し、イミド化を行い、厚さ 30 µm の二層構造のポリイミドフィルムを得た。このポリイミドフィルムをシリコン基板からはがし、電子線照射したポリイミド層を上にしてシリコン基板に密着させた。次に電子ビーム蒸着装置により、0.3 µm のアルミニウム膜を形成した。次に通常のポジ型レジストをスピンコート法により塗布した後プリベークを行った。次に線幅 10 µm、長さ 60 mm のパターン形成用マスクを通して超高圧水銀ランプを用いて紫外線を照射した後ポジ型レジスト用の現像液を用いて現像した。その後アフターベークをした。次にレジストでコートされていないアルミニウムのウェットエッチングを行った。洗浄乾燥後ドライエッチング装置を用いてポリイミドの RIE 加工を行った。そしてポリイミドの上層にあるアルミニウムを上記したエッチング液で除去し、コア層が 10 µm 幅のリッジ型光導波路が得られた。

【0029】実施例 2

実施例 1 で示したリッジ型光導波路の上に実施例 1 で使用した同じポリアミド酸溶液をスピンコートした後オープン中で 70 で 2 時間、160 で 1 時間、250 で 30 分、380 で 1 時間加熱し、イミド化を行い、上部クラッドを形成した。このようにしてコアとクラッドの屈折率差が TE と TM でほとんど同じ (TE で 0.005、TM で 0.004) 埋め込み型光導波路が得られた。

【0030】実施例 3

三角フラスコに 2, 2 - ビス(3, 4 - ジカルボキシフェニル)ヘキサフルオロプロパン二無水物 88.8 g

(0.2 mol) と 2, 2' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノビフェニル 64.0 g (0.2 mol) 及び N, N - ジメチルアセトアミド 1000 g を加えた。この混合物を窒素雰囲気下、室温で 3 日間かくはんし、濃度約 15 wt % のポリアミド酸溶液を得た。このポリアミド酸溶液をシリコンウェハ上にスピンコートした後オープン中で 70 で 2 時間、160 で 1 時間、250 で 30 分、350 で 1 時間加熱し、イミド化を行い、厚さ 10 µm のポリイミドフィルムを得た。このフィルムに 50 µm 幅、長さ 5 cm のスリットを入れたアルミニウム板を通して 25 keV のエネルギーの電子線を照射量 $1500 \mu\text{C/cm}^2$ の条件で照射し、ポリイミドのフィルム光導波路を得た。得られたポリイミド光導波路の端面を光学研磨し、波長 633 nm の赤色光を入射したところ赤い光がコアに閉じ込められて導波しているのが確認できた。また波長 1.3 µm の光をシングルモード光ファイバで入射し、出射端をマルチモード光ファイバで受光しその光強度を測定した結果、接続損失を含めて 1 dB/cm 以下であることを確認した。

【0031】実施例 4

三角フラスコに 2, 2 - ビス(3, 4 - ジカルボキシフェニル)ヘキサフルオロプロパン二無水物 88.8 g (0.2 mol) と 2, 2' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノビフェニル 64.0 g (0.2 mol) 及び N, N - ジメチルアセトアミド 1000 g を加えた。この混合物を窒素雰囲気下、室温で 3 日間かくはんし、濃度約 15 wt % のポリアミド酸溶液を得た。このポリアミド酸溶液をシリコンウェハ上にスピンコートした後オープン中で 70 で 2 時間、160 で 1 時間、250 で 30 分、350 で 1 時間加熱し、イミド化を行い、厚さ 10 µm のポリイミドフィルムを得た。このフィルムに電子線照描画装置を用いて照射量 $1500 \mu\text{C/cm}^2$ の条件で 25 keV のエネルギーの電子線を用いて、幅 8 µm、長さ 66 mm のパターンを描画し、ポリイミド光導波路を得た。得られたポリイミド光導波路の端面を光学研磨し、波長 633 nm の赤色光を入射したところ赤い光がコアに閉じ込められて導波しているのが確認できた。また波長 1.3 µm の光をシングルモード光ファイバで入射し、出射端をマルチモード光ファイバで受光しその光強度を測定した結果、接続損失を含めて 1 dB/cm 以下であることを確認した。

【0032】実施例 5

実施例 4 と同様に作製したポリイミドフィルム上に、アルミニウムを真空蒸着装置内で 10 nm 蒸着後、電子線描画装置に導入した。このフィルムに実施例 4 と同様に照射量 $1500 \mu\text{C/cm}^2$ の条件で 25 keV のエネルギーの電子線を用いて、幅 8 µm、長さ 66 mm のパターンを描画した。その後アルミニウム蒸着膜をエッチ

ング液を用いて取り除き、ポリイミド光導波路を得た。実施例 4 と同様に波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光損失を測定した結果、接続損失を含めて 1 dB/cm 以下であることを確認した。

【0033】実施例 6

電子線照射条件以外は実施例 5 と同様にしてポリイミド光導波路を得た。電子線照射条件は、照射量： $900 \mu\text{C/cm}^2$ 、エネルギー： 25 keV とした。作製したポリイミド光導波路の波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光損失を測定した結果、接続損失を含めて 1 dB/cm 以下であることを

【0034】実施例 7

三角フラスコに 2, 2 - ビス (3, 4 - ジカルボキシフェニル) ヘキサフルオロプロパン二無水物 88.8 g (0.2 mol) と 2, 2' - ビス (トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノピフェニル 64.0 g (0.2 mol) 及び N, N - ジメチルアセトアミド 1000 g を加えた。この混合物を窒素雰囲気下、室温で 3 日間かくはんし、濃度約 $15 \text{ wt}\%$ のポリアミド酸溶液 (以下 A 溶液と略記する) を得た。このポリアミド酸溶液を光学研磨したアルミニウム板上にスピンコートした後オーブン中で 70°C で 2 時間、 160°C で 1 時間、 250°C で 30 分、 350°C で 1 時間加熱し、イミド化を行い、厚さ $10 \mu\text{m}$ のポリイミドフィルムを得た。このフィルムの波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光に対する平均屈折率は 1.519 であった。

【0035】また上記の 2, 2 - ビス (3, 4 - ジカルボキシフェニル) ヘキサフルオロプロパン二無水物 0.2 mol の代わりに 2, 2 - ビス (3, 4 - ジカルボキシフェニル) ヘキサフルオロプロパン二無水物 0.14 mol とピロメリット酸二無水物 0.06 mol を使用し、上記と同様にしてポリアミド酸溶液 (以下 B 溶液と略記する) 及びポリイミドフィルムを作製した。このフィルムの波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光に対する屈折率は 1.527 であった。光学研磨したアルミニウム基板上に加熱キュア後の膜厚が $20 \mu\text{m}$ となるように A 溶液をスピンコートし、オーブン中で 70°C で 2 時間、 160°C で 1 時間、 250°C で 30 分、 380°C で 1 時間加熱キュアし、1 層目のフィルムを得た。更にその上に加熱キュア後の膜厚が $8 \mu\text{m}$ となるように B 溶液をスピンコートし、同様のキュア条件で 2 層目を作製した。この 2 層構造のフィルムに真空蒸着装置内でアルミニウムを 10 nm 蒸着後、電子線描画装置に導入した。続いてこのフィルムに 25 keV のエネルギーの電子線を照射量 $1500 \mu\text{C/cm}^2$ の条件で幅 $8 \mu\text{m}$ 、長さ 66 mm に渡って照射した。その後アルミニウム蒸着膜をエッチング液により取り除き、ポリイミド光導波路を得た。得られたプラスチック光導波路の端面を光学研磨し、波長 633 nm の赤色光を入射したところ赤い光が 2 層目に閉じ込められて導波しているのが確認できた。また波長 1.3

μm の光についても $8 \mu\text{m} \times 8 \mu\text{m}$ の領域内に光が閉じ込められて出射端まで導波していることを確認できた。

【0036】実施例 8

実施例 7 で作製したポリイミド光導波路の上に加熱キュア後の膜厚が $20 \mu\text{m}$ となるように A 溶液をスピンコートし、同様のキュア条件で上部クラッドを形成し、埋め込み型のポリイミド光導波路を得た。ポリイミド光導波路の端面を光学研磨し、波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光を入射したところ出射端で $8 \mu\text{m} \times 8 \mu\text{m}$ の領域内に光が閉じ込められて導波していることを確認できた。カットバック法により測定した接続損失を含まない光損失は、TE 偏波光、TM 偏波光とも 0.3 dB/cm であった。

【0037】実施例 9

実施例 7 と同様に作製した 2 層構造のフィルムの上に加熱キュア後の膜厚が $20 \mu\text{m}$ となるように A 溶液をスピンコートし、同様のキュア条件で 3 層を作製した。この 3 層構造のポリイミドフィルム上に電子線描画装置を用いて実施例 7 と同様に電子線描画を行った。得られたプラスチック光導波路の端面を光学研磨し、波長 633 nm の赤色光を入射したところ赤い光が 2 層目に閉じ込められて導波していることを確認できた。また波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光についても $8 \mu\text{m} \times 8 \mu\text{m}$ の領域内に光が閉じ込められて出射端まで導波していることを確認できた。

【0038】実施例 10

三角フラスコに 2, 2 - ビス (3, 4 - ジカルボキシフェニル) ヘキサフルオロプロパン二無水物 88.8 g (0.2 mol) と 2, 2' - ビス (トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノピフェニル 64.0 g (0.2 mol) 及び N, N - ジメチルアセトアミド 1000 g を加えた。この混合物を窒素雰囲気下、室温で 3 日間かくはんし、濃度約 $15 \text{ wt}\%$ のポリアミド酸溶液を得た。このポリアミド酸溶液をシリコンウェハ上にスピンコートした後オーブン中で 70°C で 2 時間、 160°C で 1 時間、 250°C で 30 分、 350°C で 1 時間加熱し、イミド化を行い、厚さ $50 \mu\text{m}$ のポリイミドフィルムを得た。このフィルムを電子線描画装置に導入した。更にこのフィルムに照射量 $1500 \mu\text{C/cm}^2$ の条件で加速電圧 10 kV のエネルギーの電子線を用いて、幅 $8 \mu\text{m}$ 、長さ 60 mm のパターンを作製した。得られたポリイミド光導波路の端面を光学研磨し、波長 $1.3 \mu\text{m}$ の光を入射し、出射端面から赤外線カメラ付き顕微鏡で観察したところ、光が閉じ込められていることが確認された。

【0039】実施例 11

三角フラスコに 2, 2 - ビス (3, 4 - ジカルボキシフェニル) ヘキサフルオロプロパン二無水物 88.8 g (0.2 mol) と 2, 2' - ビス (トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノピフェニル 64.0 g (0.2 mol) 及び N, N - ジメチルアセトアミド 1000 g を加えた。この混合物を窒素雰囲気下、室温で 3 日間

かくはんし、濃度約 15 wt % のポリアミド酸溶液を得た。このポリアミド酸溶液をシリコンウェハ上にスピンコートした後オープン中で 70 °C で 2 時間、160 °C で 1 時間、250 °C で 30 分、380 °C で 1 時間加熱し、イミド化を行い、厚さ 50 μm のポリイミドフィルムを得た。このフィルムを電子線描画装置に導入した。更にこのフィルムに照射量 1500 μC / cm² の条件で加速電圧 10 kV のエネルギーの電子線を用いて、幅 8 μm、長さ 60 mm のパターンを作製した。その後更にこの上にポリイミドスピンコート膜をスピンコートし、埋め込み構造のポリイミド光導波路を得た。得られたポリイミド光導波路の端面を光学研磨し、波長 1.3 μm の光を入射し、出射端面から赤外線カメラ付き顕微鏡で観察したところ、光が閉じ込められていることが確認された。この埋め込み構造のポリイミド光導波路は 3 工程で作製できた。またポリイミドフィルム同志の張り合せ、はく離したポリイミド膜へのスピンコートなしで埋め込み構造のポリイミド光導波路を作製できた。

【0040】比較例 1

従来の RIE を用いる埋め込み型ポリイミド光導波路の作製工程を図 12 に示す。全部で 7 工程必要となる。

【0041】

【発明の効果】以上説明したように本発明の電子線照射により屈折率を制御したポリイミドをコア層に用いた光導波路は、複屈折やコアとクラッド間の熱的特性の相違がほとんどなく、従来のポリイミド光導波路の問題を解決できた。また電子ビーム描画装置やマスクを用いることにより、コア形成が容易となり導波路形成工程の簡略化も期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】フッ素化ポリイミド層が 1 層のみでコアが左右方向で挟まれている構造のフッ素化ポリイミド光導波路の一実施例を示す断面図である。

【図 2】1 種類のフッ素化ポリイミドでできている埋め込み型フッ素化ポリイミド光導波路の一実施例を示す断面図である。

【図 3】コアをマスクを通して電子線照射により形成するフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を *

* 示す図である。

【図 4】コアを電子線描画により形成するフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。

【図 5】異なる 2 種類の高分子による 2 層構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。

【図 6】図 5 に示す 2 層構造のフッ素化ポリイミド光導波路の上部に高分子層を形成した埋め込み構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。

【図 7】3 層の高分子層を形成した後電子線を描画して作製する埋め込み構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。

【図 8】図 7 で示した製造工程で作製された埋め込み構造のフッ素化ポリイミド光導波路の断面図である。

【図 9】1 種類のフッ素化ポリイミドによる 2 層構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。

【図 10】1 種類のフッ素化ポリイミドによる埋め込み構造のフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。

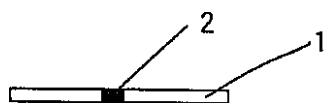
【図 11】電子線を照射する工程の前工程として導電性膜を形成する工程と、後工程として導電性膜を除去する工程を含むフッ素化ポリイミド光導波路の製造工程の一実施例を示す図である。

【図 12】従来の RIE を用いた埋め込み構造の高分子光導波路の製造工程を示す図である。

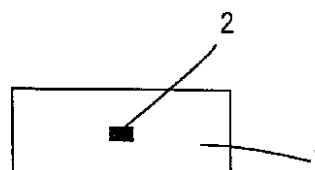
【符号の説明】

1...クラッド、2...コア、10...基板、11...コア層用の高分子膜、11'...コアを含むクラッドの高分子膜、12...マスク、13...コア、14...下部クラッドとなる高分子膜、15...上部クラッドとなる高分子膜、16...屈折率 n_3 の領域、17...屈折率 $n_3 + \Delta n_3$ の領域、18...屈折率 n_3 の領域、19...屈折率 n_2 の領域、20...屈折率 n_1 の領域、21...屈折率 $n_1 + \Delta n_1$ の領域、22...屈折率 n_1 の領域、23...屈折率 n_2 の領域、24...屈折率 $n_2 + \Delta n_2$ の領域、25...導電性膜、26...マスク、26'...コア寸法のマスク

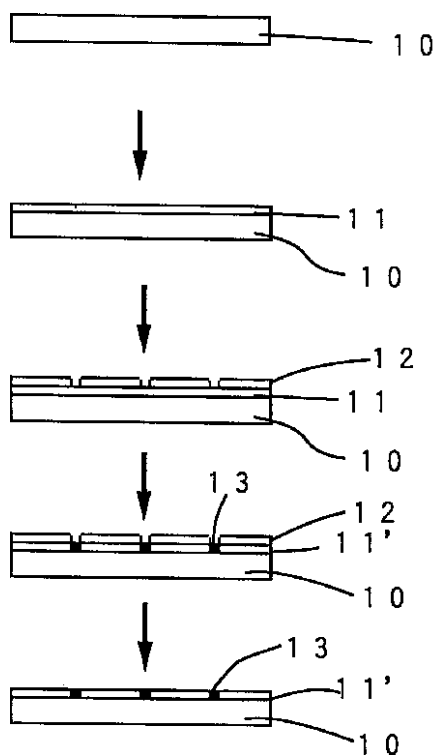
【図 1】



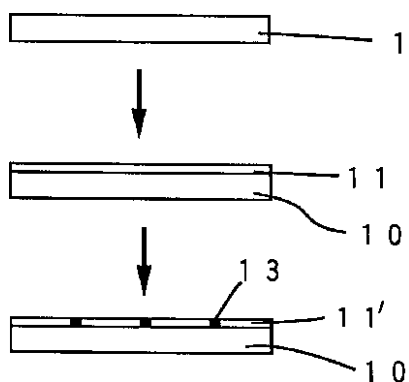
【図 2】



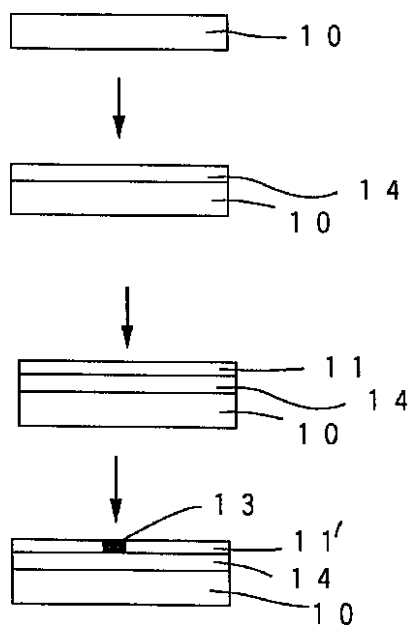
【図3】



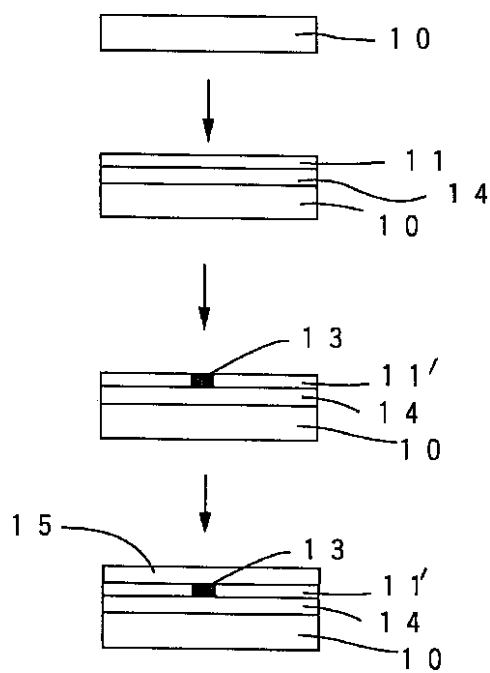
【図4】



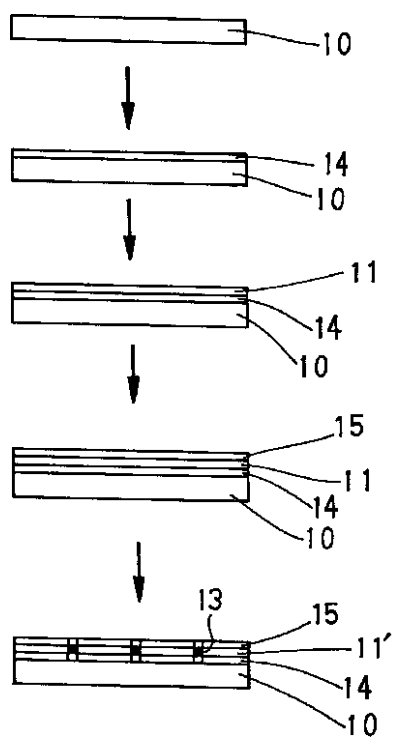
【図5】



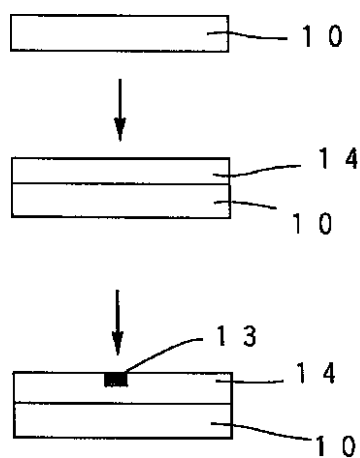
【図6】



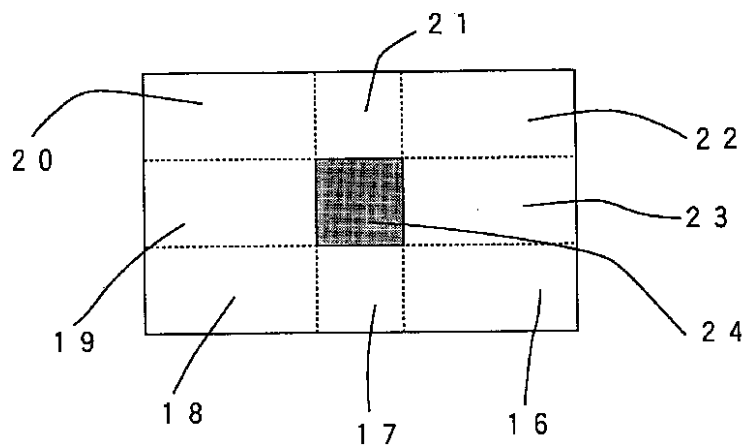
【図7】



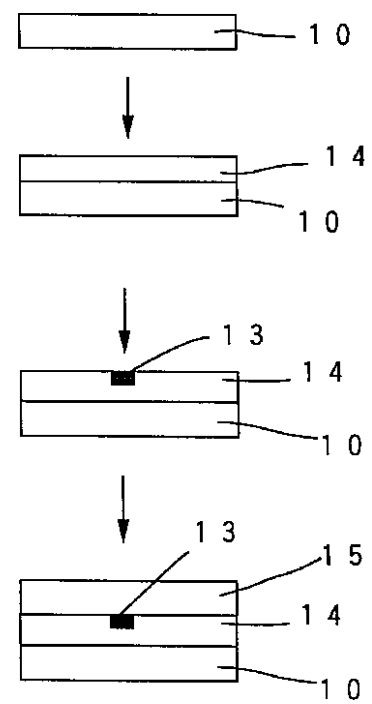
【図9】



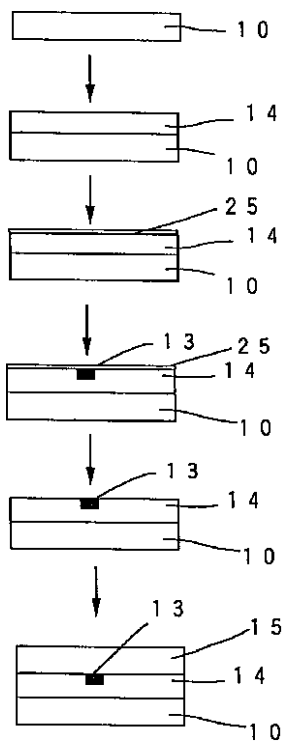
【図 8】



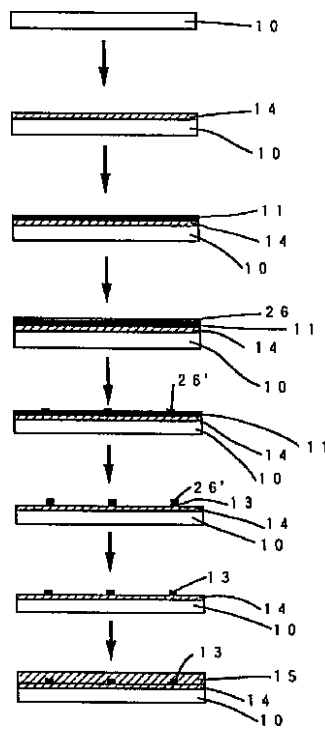
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 安藤 慎治
東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号
日本電信電話株式会社内

(72)発明者 松浦 徹
東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号
日本電信電話株式会社内

(72)発明者 山本 二三男
東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号
日本電信電話株式会社内

(72)発明者 松井 伸介
東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号
日本電信電話株式会社内

(56)参考文献 特開 平 4 - 235505 (J P , A)
 特開 平 4 - 235506 (J P , A)
 特開 昭 61 - 204603 (J P , A)
 特開 平 4 - 9807 (J P , A)
 特開 平 1 - 138510 (J P , A)
 特開 平 4 - 274402 (J P , A)
 特開 平 5 - 27132 (J P , A)
 特開 昭 58 - 101115 (J P , A)
 特開 平 6 - 51146 (J P , A)
 特開 昭 62 - 297807 (J P , A)
 特開 平 4 - 8734 (J P , A)
 特開 平 3 - 72528 (J P , A)
 米国特許 4808285 (U S , A)
 英国特許出願公開 2191603 (G B , A)
 丸尾容子 et . al . , 高分子学会
 予稿集 , 1993 年 5 月 12 日 , Vol . 42
 No . 3 , p . 1140
 J . Bell et . al . , Ele
 ctronics Letters ,
 1991 年 2 月 28 日 , Vol . 27 No .
 5 , pp . 448 - 450
 渡部浩一 et . al . , 12th J
 apan Symposium The
 rmophysical Proper
 ties , 1991 年 11 月 6 日 , pp . 5
 - 8
 M . J . Brady et . a
 l . , , IBM Technical
 Disclosure Bulleti
 n , Vol . 23 No . 7 A (Dece
 mber 1980) , pp . 2999 - 3000
 M . J . Rooks et . a
 l . , , Applied Optic
 s , 1990 年 9 月 20 日 , Vol . 29 N
 o . 27 , pp . 3880 - 3882
 T . Matsuura et . a
 l . , , Electronics Le
 tters , 1993 年 2 月 4 日 , Vo
 l . 29 No . 3 , pp . 269 - 271

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷ , D B 名)
 G02B 6/12 - 6/14
 C08G 73/10
 C08J 7/00 - 7/18