

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-242334

(P2001-242334A)

(43)公開日 平成13年9月7日(2001.9.7)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード*(参考)

G 0 2 B 6/122

G 0 2 B 6/12

A 2 H 0 4 7

6/12

N

6/13

M

審査請求 有 請求項の数18 O L 公開請求 (全 17 頁)

(21)出願番号 特願2001-23262(P2001-23262)

(22)出願日 平成13年1月31日(2001.1.31)

(71)出願人 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 松浦 徹

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 佐々木 重邦

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 100077481

弁理士 谷 義一 (外1名)

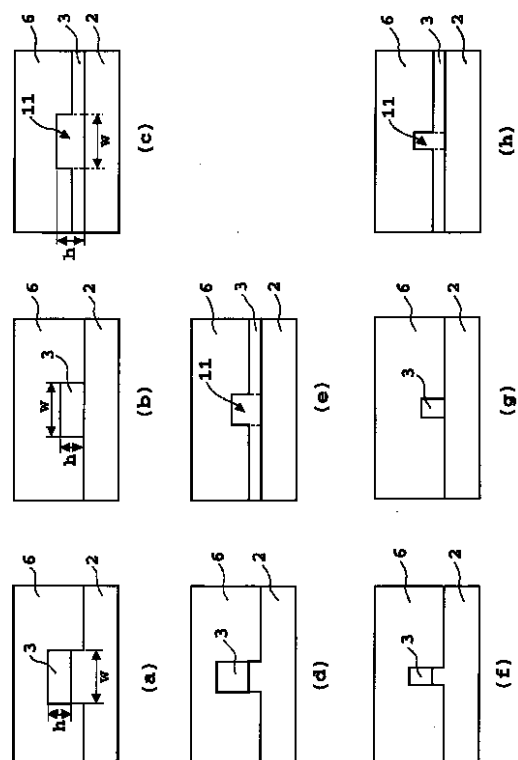
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 異形ポリイミド光導波路およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 種々の光配線、分岐回路あるいは方向性結合器を含む光部品にも適用可能な異形ポリイミド光導波路の提供。

【解決手段】 下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されている埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、前記コアは、コア幅対コア高さの比が1より大きくかつ2以下である矩形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さは、コア高さの0%より大きくかつ30%以下である範囲内で、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さよりも小さいことを特徴とする異形ポリイミド光導波路。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されている埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、前記コアは、コア幅対コア高さの比が 1 より大きくかつ 2 以下である矩形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さは、コア高さの 0 % より大きくかつ 30 % 以下である範囲内で、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さよりも小さいことを特徴とする異形ポリイミド光導波路。

【請求項 2】 下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されている埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、前記コアは、コア幅対コア高さの比が 1 より大きくかつ 2 以下である矩形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さと、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さとは等しいことを特徴とする異形ポリイミド光導波路。

【請求項 3】 下部クラッド層と、該下部クラッド層上の突起部を有するコア層と、該下部クラッド層および該コア層を覆う上部クラッド層とからなり、該突起部と該突起部の下にあるコア層をコアとし、該下部クラッド層、該コア層、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されている埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、該コアは、コア幅対コア高さの比が 1 より大きくかつ 2 以下である矩形断面を有し、および該突起部が形成されていない部分のコア層の厚さは、該コア高さの 0 % より大きくかつ 30 % 以下であることを特徴とする異形ポリイミド光導波路。

【請求項 4】 下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されている埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、前記コアは、コア幅対コア高さの比が 1 である正方形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さは、コア高さの 0 % より大きくかつ 30 % 以下である範囲内で、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さよりも小さい、ことを特徴とする異形ポリイミド光導波路。

【請求項 5】 下部クラッド層と、該下部クラッド層上の突起部を有するコア層と、該下部クラッド層および該コア層を覆う上部クラッド層とからなり、該突起部と該突起部の下にあるコア層をコアとし、該下部クラッド

層、該コア層、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されている埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、

該コアは、コア幅対コア高さの比が 1 である正方形断面を有し、および該突起部が形成されていない部分のコア層の厚さは、該コア高さの 0 % より大きくかつ 30 % 以下であることを特徴とする異形ポリイミド光導波路。

【請求項 6】 下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されている埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、前記コアは、コア幅対コア高さの比が 0.7 以上 1 未満である矩形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さは、コアの高さの 0 % より大きくかつ 30 % 以下である範囲内で、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さよりも小さい、ことを特徴とする異形ポリイミド光導波路。

【請求項 7】 下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されている埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、前記コアは、コア幅対コア高さの比が 0.7 以上 1 未満である矩形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さと、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さとは等しいことを特徴とする異形ポリイミド光導波路。

【請求項 8】 下部クラッド層と、該下部クラッド層上の突起部を有するコア層と、該下部クラッド層および該コア層を覆う上部クラッド層とからなり、該突起部と該突起部の下にあるコア層をコアとし、該下部クラッド層、該コア層、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されている埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、

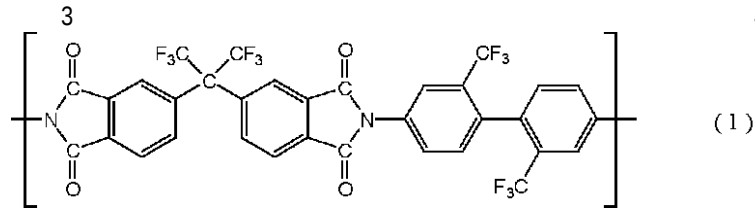
該コアは、コア幅対コア高さの比が 0.7 以上 1 未満である矩形断面を有し、および該突起部が形成されていない部分のコア層の厚さは、該コア高さの 0 % より大きく 30 % 以下であることを特徴とする異形ポリイミド光導波路。

【請求項 9】 前記ポリイミド材料は、式 (1) ~ (3) のいずれかで表わされる繰り返し単位からなる含フッ素ポリイミド、式 (1) ~ (3) から選択される 2 種または 3 種の繰り返し単位からなる含フッ素ポリイミド共重合体、およびそれらの混合物からなる群から選択されることを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の異形ポリイミド光導波路。

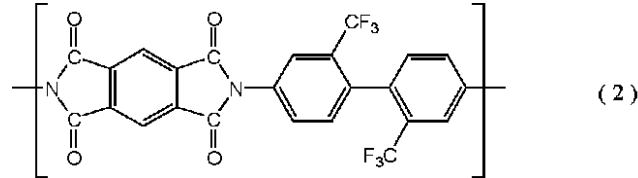
【化 1】

(3)

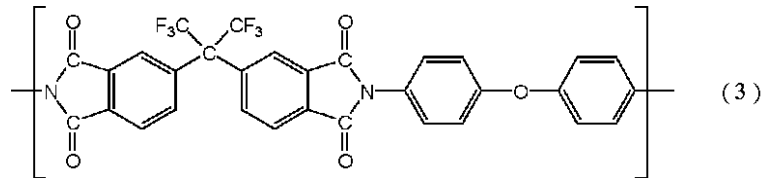
4



【化 2】



【化 3】



【請求項 10】 下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、
該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であつて、前記コアはコア幅対コア高さの比が 1 より大きくかつ 2 以下である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの 100% より大きくかつ 130% 以下である工程と、
上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする異形ポリイミド光導波路の製造方法。

【請求項 11】 下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、
該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であつて、前記コアはコア幅対コア高さの比が 1 より大きくかつ 2 以下である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さと等しい工程と、
上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする異形ポリイミド光導波路の製造方法。

【請求項 12】 下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、
該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であつて、前記コアはコア幅対コア高さの比が 1 より大きくかつ 2 以下である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの 70% 以上 100% 未満である工程と、
上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を

用いた作製されることを特徴とする異形ポリイミド光導波路の製造方法。

【請求項 13】 下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、
該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であつて、前記コアはコア幅対コア高さの比が 1 である正方形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの 100% より大きくかつ 130% 以下である工程と、
上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする異形ポリイミド光導波路の製造方法。

【請求項 14】 下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、
該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であつて、前記コアはコア幅対コア高さの比が 1 である正方形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの 70% 以上 100% 未満である工程と、
上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする異形ポリイミド光導波路の製造方法。

【請求項 15】 下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、
該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であつて、前記コアはコア幅対コア高さの比が 0.7 以上 1 未満である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの 100% より大きくかつ 130% 以下である工程と、

30

40

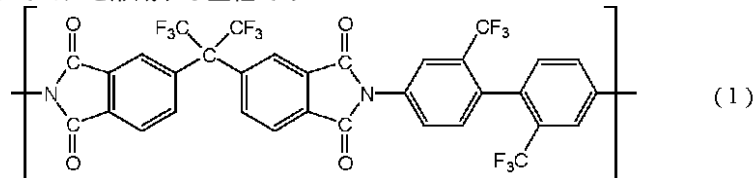
50

5

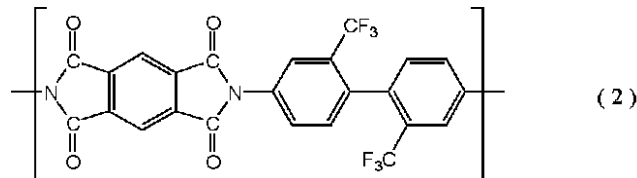
上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする異形ポリイミド光導波路の製造方法。

【請求項 16】 下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、
該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であって、前記コアはコア幅対コア高さの比が 0.7 以上 1 未満である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さと等しい工程と、
上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする異形ポリイミド光導波路の製造方法。

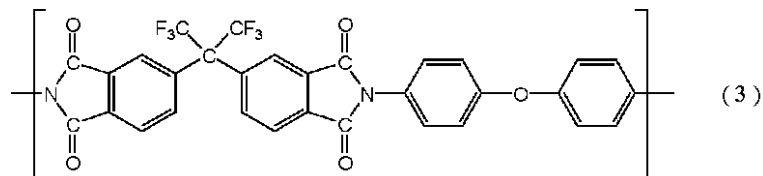
【請求項 17】 下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、
該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であって *



【化 5】



【化 6】



【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ポリイミドを用いた光導波路に関し、より詳細には、コアの幅と高さとの比を変更しても導波モードがシングルモードとなる低損失の埋め込み型光導波路に関する。

【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、特に光導波路形成技術の確立が望まれている。

【0003】一般に、光導波路には、(1) 光損失が小

* て、前記コアはコア幅対コア高さの比が 0.7 以上 1 未満である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの 70% 以上 100% 未満である工程と、

上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする異形ポリイミド光導波路の製造方法。

【請求項 18】 前記ポリイミド材料は、式(1)～

(3) のいずれかで表わされる繰り返し単位からなる含フッ素ポリイミド、式(1)～(3)から選択される 2 種または 3 種の繰り返し単位からなる含フッ素ポリイミド共重合体、およびそれらの混合物からなる群から選択されることを特徴とする請求項 10～17 のいずれかに記載の異形ポリイミド光導波路の製造方法。

【化 4】

さい、(2) 製造が容易である、(3) 偏波依存性が小さい、(4) コアとクラッドとの屈折率差を幅広い範囲で制御できる等の特性を有することが所望されている。従来、低損失光導波路として、石英系の材料を用いたものが検討されてきている。光ファイバで実証されているように、石英系の材料は光透過性が極めて良好であり、導波路とした場合も 1.3 μm の波長の光に関して 0.1 dB/cm 以下の低損失化が達成されている。しかし、石英系材料は柔軟性に乏しいため、シリコン等の基板上に作製する必要があり、基板上で使用しなければならないという制約がある。また、作製時に高温処理が必要であり、さらに大面積化が困難であるなどの製造上の問題点がある。

【0004】石英系材料の上記の問題点を解決するために、ポリメチルメタクリレート（PMMA）、ポリスチレン（PS）、ポリカーボネート（PC）等の材料を用いる高分子光導波路が検討されて来ている。これらの高分子光導波路は、石英系光導波路と比較して、耐熱温度が低い、近赤外域より長波長側の領域での光損失が大きいなどの欠点を未だ有している。しかしながら、より低い温度で成形が可能であり、加工が容易であるため、低価格化を期待することができ、かつ大面積化に有利であるといった長所を有している。また、本発明者らは、特開平4-9807号公報に記載される、高分子材料に耐熱性を付与したポリイミド系高分子光導波路が基板上に製造できることを見いだしている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記ポリイミド系光導波路も含めて、一般の通信用シングルモード光導波路のコアの断面形状は、導波モードをシングルモードとすること、およびシングルモードファイバーのモードフィールド径とコアの寸法を整合させること等の要請から、高さおよび幅が8~10 μ m程度の正方形断面として設計および作製されてきている。しかしながら、これらの光導波路を、種々の光配線（高密度あるいは低密度、直線または曲線、種々の形状を有する光射出面および光入射面との高効率な接続）、あるいは分岐回路および方向性結合器を含む光部品に適用する場合、光導波路の断面形状は正方形以外に、縦長あるいは横長の形状であることが必要となる。

【0006】高分子光導波路は、一般的に下部クラッド層の上に様なコア層を積層し、該コア層をエッチングしてパターン化されたコアを形成し、そして該コアおよび下部クラッド層を覆う上部クラッド層を積層して形成される。このようにエッチングによりコアパターンを形成する際に、そのエッチングの終点付近（すなわち、エッチングにより露出する底面、およびコア側壁の下部）は、エッチングによる表面荒れ、コア側壁の垂直性の欠陥、およびクラック等の複雑な形状効果を有し、高精度な垂直性および均一性がコア側面に要求される場合に問題となる。また、コアの位置安定性が特に重要な場合に、コアの位置安定性を如何に向上させるかが問題である。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記の課題を解決するに当たり、光導波路の構造設計を鋭意検討し、以下のような断面構造を有する異形ポリイミド光導波路を発明し、低損失のシングルモード導波を実現できることを見いだした。

【0008】また、本発明の異形ポリイミド導波路において、コアパターンのエッチングの深さをコア層の厚さよりも大きくすることによって、エッチング上面の表面荒れに基づく不良界面あるいはエッチング時に生じるコ

ア側面脇（コア近傍の下部クラッド層）のクラック等をコアから遠ざけてコア側面の高精度な垂直性および均一性を達成することができ、該クラックによる性能劣化を抑制することができる。

【0009】さらに本発明の異形ポリイミド導波路において、コアパターンのエッチング深さをコア層の厚さよりも小さくすることによって、コア部の位置安定性を向上させるとともに、光導波路作製に伴う歪み（応力発生）により生じる性能劣化を抑制することができる。

10 【0010】本発明の第1の実施形態である埋め込み型異形ポリイミド光導波路は、下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されており、前記コアは、コア幅対コア高さの比が1より大きくかつ2以下である矩形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さは、コア高さの0%より大きくかつ30%以下である範囲内で、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さよりも小さいことを特徴とする。

20 【0011】本発明の第2の実施形態である埋め込み型異形ポリイミド光導波路は、下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されており、前記コアは、コア幅対コア高さの比が1より大きくかつ2以下である矩形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さと、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さとは等しいことを特徴とする。

30 【0012】本発明の第3の実施形態である埋め込み型異形ポリイミド光導波路は、下部クラッド層と、該下部クラッド層上の突起部を有するコア層と、該下部クラッド層および該コア層を覆う上部クラッド層とからなり、該突起部と該突起部の下にあるコア層をコアとし、該下部クラッド層、該コア層、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されており、該コアは、コア幅対コア高さの比が1より大きくかつ2以下である矩形断面を有し、および該突起部が形成されていない部分のコア層の厚さは、該コア高さの0%より大きくかつ30%以下であることを特徴とする。

40 【0013】本発明の第4の実施形態である埋め込み型異形ポリイミド光導波路は、下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されており、前記コアは、コア幅対コア高さの比が1である正方形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さは、コア高さの0%より大きくかつ30%以下である範囲内で、該コア

が形成されている部分の下部クラッド層の厚さよりも小さいことを特徴とする。

【0014】本発明の第5の実施形態である埋め込み型異形ポリイミド光導波路は、下部クラッド層と、該下部クラッド層上の突起部を有するコア層と、該下部クラッド層および該コア層を覆う上部クラッド層とからなり、該突起部と該突起部の下にあるコア層をコアとし、該下部クラッド層、該コア層、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されており、該コアは、コア幅対コア高さの比が1である正方形断面を有し、および該突起部が形成されていない部分のコア層の厚さは、該コア高さの0%より大きくかつ30%以下であることを特徴とする。

【0015】本発明の第6の実施形態である埋め込み型異形ポリイミド光導波路は、下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コアを覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されており、前記コアは、コア幅対コア高さの比が0.7以上1未満である矩形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さは、コアの高さの0%より大きくかつ30%以下である範囲で、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さよりも小さいことを特徴とする。

【0016】本発明の第7の実施形態である埋め込み型異形ポリイミド光導波路は、下部クラッド層と、該下部クラッド層上のコアと、該下部クラッド層および該コア*

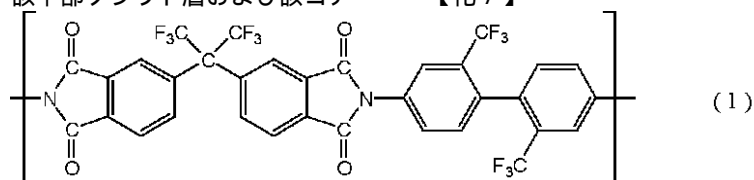
*を覆う上部クラッド層とからなり、該下部クラッド層、該コア、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されており、前記コアは、コア幅対コア高さの比が0.7以上1未満である矩形断面を有し、および該コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さと、該コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さとは等しいことを特徴とする。

【0017】本発明の第8の実施形態である埋め込み型異形ポリイミド光導波路は、下部クラッド層と、該下部クラッド層上の突起部を有するコア層と、該下部クラッド層および該コア層を覆う上部クラッド層とからなり、該突起部と該突起部の下にあるコア層をコアとし、該下部クラッド層、該コア層、および該上部クラッド層はポリイミド材料を用いて作製されており、該コアは、コア幅対コア高さの比が0.7以上1未満である矩形断面を有し、および該突起部が形成されていない部分のコア層の厚さは、該コア高さの0%より大きく30%以下であることを特徴とする。

【0018】本発明の第1から第8の実施形態の埋め込み型異形ポリイミド光導波路において、前記ポリイミド材料は、式(1)～(3)のいずれかで表わされる繰り返し単位からなる含フッ素ポリイミド、式(1)～(3)から選択される2種または3種の繰り返し単位からなる含フッ素ポリイミド共重合体、およびそれらの混合物からなる群から選択されてもよい。

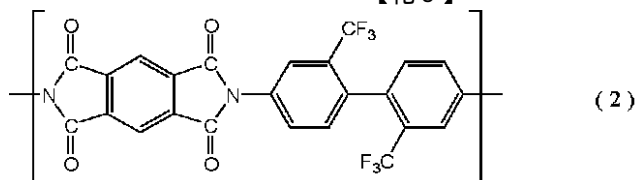
【0019】

【化7】



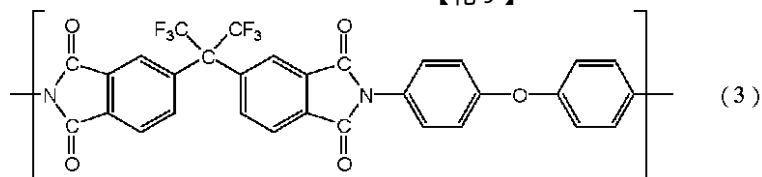
【0020】

【化8】



【0021】

【化9】



【0022】本発明の第9の実施形態である異形ポリイミド光導波路の製造方法は、下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、該コア層をエッチングしてコアを

形成する工程であって、前記コアはコア幅対コア高さの比が1より大きくかつ2以下である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの100

%より大きくかつ130%以下である工程と、上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする。

【0023】本発明の第10の実施形態である異形ポリイミド光導波路の製造方法は、下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であって、前記コアはコア幅対コア高さの比が1より大きくかつ2以下である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さと等しい工程と、上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする。

【0024】本発明の第11の実施形態である異形ポリイミド光導波路の製造方法は、下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であって、前記コアはコア幅対コア高さの比が1より大きくかつ2以下である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの70%以上100%未満である工程と、上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする。

【0025】本発明の第12の実施形態である異形ポリイミド光導波路の製造方法は、下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であって、前記コアはコア幅対コア高さの比が1である正方形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの100%より大きくかつ130%以下である工程と、上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする。

【0026】本発明の第13の実施形態である異形ポリイミド光導波路の製造方法は、下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であって、前記コアはコア幅対コア高さの比が1である正方形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの70%以上100%未満である工程と、上部クラッド層を積層する工程とを備

* え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする。

【0027】本発明の第14の実施形態である異形ポリイミド光導波路の製造方法は、下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であって、前記コアはコア幅対コア高さの比が0.7以上1未満である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの100%より大きくかつ130%以下である工程と、上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする。

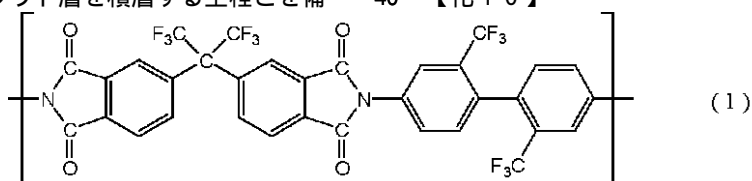
【0028】本発明の第15の実施形態である異形ポリイミド光導波路の製造方法は、下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であって、前記コアはコア幅対コア高さの比が0.7以上1未満である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さと等しい工程と、上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする。

【0029】本発明の第16の実施形態である異形ポリイミド光導波路の製造方法は、下部クラッド層およびコア層を積層する工程と、該コア層をエッチングしてコアを形成する工程であって、前記コアはコア幅対コア高さの比が0.7以上1未満である矩形断面を有し、かつ該コア層のエッチング深さは、コア層の高さの70%以上100%未満である工程と、上部クラッド層を積層する工程とを備え、該下部クラッド層、コア層および上部クラッド層はポリイミド材料を用いた作製されることを特徴とする。

【0030】本発明の第9から第16の実施形態である異形ポリイミド光導波路の製造方法において、前記ポリイミド材料は、式(1)～(3)のいずれかで表わされる繰り返し単位からなる含フッ素ポリイミド、式(1)～(3)から選択される2種または3種の繰り返し単位からなる含フッ素ポリイミド共重合体、およびそれらの混合物からなる群から選択されてもよい。

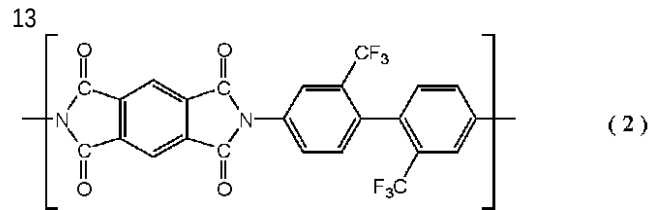
【0031】

【化10】

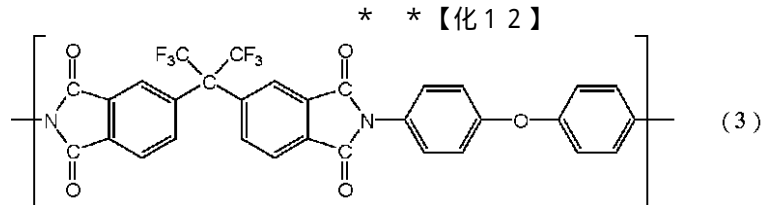


【0032】

【化11】



【0033】



【0034】

【発明の実施の形態】本発明に用いるポリイミド材料としては、光透過性の観点から、特に光透過性に優れた含フッ素ポリイミドが好適である。ポリイミドの具体例としては、下記のテトラカルボン酸またはその誘導体である酸二無水物あるいは塩化物と、ジアミンとから合成されるポリイミドを挙げることができる。

【0035】テトラカルボン酸の例としては、ピロメリット酸、トリフルオロメチルピロメリット酸、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-テトラカルボキシベリレン、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)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}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、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、1,4-ジフルオロピロメリット酸、1-トリフルオロメチル-4-フルオロピロメリット酸、1,4-ジ(トリフルオロメチル)ピロメリット酸、1-ペンタフルオロエチル-4-フルオロピロメリット酸、1-ペンタフルオロエチル-4-トリフルオロメチルピロメリット酸、1,4-ジ(ペンタフルオロエチル)ピロメリット酸、1-ペンタフルオロフェニル-4-フルオロピロメリット酸、1-ペンタフルオロフェニル-4-トリフルオロメチルピロメリット酸、1-ペンタフルオロフェニル-4-ペンタフルオロエチルピロメリット酸、1,4-ジ(ペンタフルオロフェニル)ピロメリット酸、1-トリフルオロメトキシ-4-フルオロピロメリット酸、1-トリフルオロメトキシ-4-トリフルオロメチルピロメリット酸、1-トリフルオロメトキシ-4-ペンタフルオロエチルピロメリット酸、1-トリフルオロメトキシ-4-ペンタフルオロフェニルピロメリット酸、1,4-ジ(トリフルオロメトキシ)ピロメリット酸、1-ペンタフルオロエトキシ-4-フルオロピロメリット酸、1-ペンタフルオロエトキシ-4-トリフルオロメチルピロメリット酸、1-ペンタフルオロエトキシ-4-ペンタフルオロエチルピロメリット酸、1-ペンタフルオロエトキシ-4-ペンタフルオロフェニルピロメリット酸、1-ペンタフルオロエトキシ-4-ト

20

30

40

50

リフルオロメトキシピロメリット酸、1,4-ジ(ペンタフルオロエトキシ)ピロメリット酸、1-ペンタフルオロフェノキシ-4-フルオロピロメリット酸、1-ペンタフルオロフェノキシ-4-トリフルオロメチルピロメリット酸、1-ペンタフルオロフェノキシ-4-ペンタフルオロエチルピロメリット酸、1-ペンタフルオロフェノキシ-4-ペンタフルオロフェニルピロメリット酸、1-ペンタフルオロフェノキシ-4-トリフルオロメトキシピロメリット酸、1-ペンタフルオロフェノキシ-4-ペンタフルオロエトキシピロメリット酸、1,4-ジ(ペンタフルオロフェノキシ)ピロメリット酸、ヘキサフルオロ-3,3',4,4'-ビフェニルテトラカルボン酸、ヘキサフルオロ-3,3',4,4'-ビフェニルエーテルテトラカルボン酸、ヘキサフルオロ-3,3',4,4'-ベンゾフェノンテトラカルボン酸、ビス(3,4-ジカルボキシトリフルオロフェニル)スルホン、ビス(3,4-ジカルボキシトリフルオロフェニル)スルフィド、ビス(3,4-ジカルボキシトリフルオロフェニル)ジフルオロメタン、1,2-ビス(3,4-ジカルボキシトリフルオロフェニル)テトラフルオロエタン、2,2-ビス(3,4-ジカルボキシトリフルオロフェニル)ヘキサフルオロプロパン、1,4-ビス(3,4-ジカルボキシトリフルオロフェニル)テトラフルオロベンゼン、3,4-ジカルボキシトリフルオロフェニル-3',4'-ジカルボキシトリフルオロフェノキシ-ジフルオロメタン、ビス(3,4-ジカルボキシトリフルオロフェノキシ)ジフルオロメタン、1,2-ビス(3,4-ジカルボキシトリフルオロフェノキシ)テトラフルオロエタン、2,2-ビス(3,4-ジカルボキシトリフルオロフェノキシ)ヘキサフルオロプロパン、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、2,3,6,7-テトラカルボキシ-テトラフルオロナフタレン、2,3,6,7-テトラカルボキシ-ヘキサフルオロアントラセン、2,3,6,7-テトラカルボキシ-ヘキサフルオロフェナントレン、2,3,6,7-テトラカルボキシ-テトラフルオロビフェニレン、2,3,7,8-テトラカルボキシ-テトラフルオロジベンゾフラン、2,3,6,7-テトラカルボキシ-テトラフルオロアントラキノ、2,3,6,7-テトラカルボキシ-ペンタフルオロアントロン、2,3,7,8-テトラカルボキシ-テトラフルオロフェノキサチン、2,3,7,8-テトラカルボキシ-テトラフルオロチアントレン、2,3,7,8-テトラカルボキシ-テトラフルオロジベンゾ[b,e]1,4ジオキサン等を挙げることができる。

【0036】また、ジアミンとしては、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ライド、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、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'-オキシジアニリン、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プタン、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テル、3,3'-ビス(トリフルオロメチル)-4,4'-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 - 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、テトラフルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、テトラフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、テトラフルオロ - 1,4 - フェニレンジアミン、ヘキサフルオロ - 1,5 - ジアミノナフタレン、ヘキサフルオロ - 2,6 - ジアミノナフタレン、3 - トリフルオロメチル - トリフルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、4 - トリフルオロメチル - トリフルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、2 - トリフルオロメチル - トリフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、4 - トリフルオロメチル - トリフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、5 - トリフルオロメチル - トリフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、2 - トリフルオロメチル - トリフルオロ - 1,4 - フェニレンジアミン、3,4 - ビス(トリフルオロメチル) - ジフルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、3,5 - ビス(トリフルオロメチル) - ジフルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、2,4 - ビス(トリフルオロメチル) - ジフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、4,5 - ビス(トリフルオロメチル) - ジフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、4,6 - ビス(トリフルオロメチル) - ジフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、2,3 - ビス(トリフルオロメチル) - ジフルオロ - 1,4 - フェニレンジアミン、2,5 - ビス(トリフルオロメチル) - ジ

フルオロ - 1,4 - フェニレンジアミン、3,4,5 - トリス(トリフルオロメチル) - フルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、3,4,6 - トリス(トリフルオロメチル) - フルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、2,4,5 - トリス(トリフルオロメチル) - フルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、2,4,6 - トリス(トリフルオロメチル) - フルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、4,5,6 - トリス(トリフルオロメチル) - フルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、テトラキス(トリフルオロメチル) - 1,2 - フェニレンジアミン、テトラキス(トリフルオロメチル) - 1,3 - フェニレンジアミン、テトラキス(トリフルオロメチル) - 1,4 - フェニレンジアミン、3 - ペンタフルオロエチル - トリフルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、4 - ペンタフルオロエチル - トリフルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、2 - ペンタフルオロエチル - トリフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、4 - ペンタフルオロエチル - トリフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、5 - ペンタフルオロエチル - トリフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、2 - ペンタフルオロエチル - トリフルオロ - 1,4 - フェニレンジアミン、3 - トリフルオロメトキシ - トリフルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、4 - トリフルオロメトキシ - トリフルオロ - 1,2 - フェニレンジアミン、2 - トリフルオロメトキシ - トリフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、4 - トリフルオロメトキシ - トリフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、5 - トリフルオロメトキシ - トリフルオロ - 1,3 - フェニレンジアミン、2 - トリフルオロメトキシ - トリフルオロ - 1,4 - フェニレンジアミン、3,3' - ジアミノ - オクタフルオロビフェニル、3,4' - ジアミノ - オクタフルオロビフェニル、4,4' - ジアミノ - オクタフルオロビフェニル、2,2' - ビス(トリフルオロメチル) - 4,4' - ジアミノヘキサフルオロビフェニル、3,3' - ビス(トリフルオロメチル) - 4,4' - ジアミノヘキサフルオロビフェニル、ビス(3 - アミノ - テトラフルオロフェニル)エーテル、3,4' - ジアミノ - オクタフルオロビフェニルエーテル、ビス(4 - アミノ - テトラフルオロフェニル)エーテル、3,3' - ジアミノ - オクタフルオロベンゾフェノン、3,4' - ジアミノ - オクタフルオロベンゾフェノン、4,4' - ジアミノ - オクタフルオロベンゾフェノン、ビス(3 - アミノ - テトラフルオロフェニル)スルホン、3,4' - ジアミノ - オクタフルオロビフェニルスルホン、ビス(4 - アミノ - テトラフルオロフェニル)スルホン、ビス(3 - アミノ - テトラフルオロフェニル)スルフィド、3,4' - ジアミノ - オクタフルオロビフェニルスルフィド、ビス(4 - アミノ - テトラフルオロフェニル)スルフィド、ビス(4 - アミノテトラフルオロフェニル)ジフルオロメタン、1,2 - ビス(4 - アミノテトラフルオロフェニル)テトラフルオロエタン、2,2 - ビス(4 - アミノテトラフルオロフェニル)ヘキサフルオロプロパン、4,4' - ジアミ

ノ - ドデカフルオロ - p - テルフェニル、4 - アミノ - テトラフルオロフェノキシ - 4' - アミノ - テトラフルオロフェニル - ジフルオロメタン、ビス(4 - アミノ - テトラフルオロフェノキシ) - ジフルオロメタン、1, 2 - ビス(4 - アミノ - テトラフルオロフェノキシ) - テトラフルオロエタン、2, 2 - ビス(4 - アミノ - テトラフルオロフェノキシ) - ヘキサフルオロプロパン、1, 4 - ビス(4 - アミノ - テトラフルオロフェノキシ) - テトラフルオロベンゼン、2, 6 - ジアミノ - ヘキサフルオロナフタレン、2, 6 - ジアミノ - オクタフルオロアントラセン、2, 7 - ジアミノ - オクタフルオロフェナントレン、2, 6 - ジアミノ - ヘキサフルオロピフェニレン、2, 7 - ジアミノ - ヘキサフルオロジベンゾフラン、2, 6 - ジアミノ - ヘキサフルオロアントラキノン、2, 6 - ジアミノ - オクタフルオロアントロン、2, 7 - ジアミノ - ヘキサフルオロフェノキサチン、2, 7 - ジアミノ - ヘキサフルオロチアントレン等を挙げることができる。

【0037】上記のテトラカルボン酸またはその誘導体とジアミンとの組合せにより合成されるポリイミドの中で、優れた光透過性と屈折率制御性を示す観点から、以下のポリイミドを光導波路材料として用いることが好ましい。

(1) ピロメリット酸二無水物(PMDA)および2, 2 - ビス(3, 4 - ジカルボキシジフェニル)ヘキサフルオロプロパン二無水物(6FDA)の2種類の酸二無水物をテトラカルボン酸誘導体として用い、2, 2' - ビス(トリフルオロメチル) - 4, 4' - ジアミノジフェニル(TFDB)をジアミンとして用いた含フッ素ポリイミド共重合体、(2) PMDAまたは6FDAのいずれか1つをテトラカルボン酸誘導体として用い、TFDBをジアミンとして用いた単独重合体のホモポリイミド、(3) 6FDAをテトラカルボン酸として用い、TFDBおよび4, 4' - オキシジアニリン(ODA)の2種類をジアミンとして用いた含フッ素ポリイミド共重合体、(4) 6FDAとODAとから合成される単独重合体のホモポリイミド。

【0038】さらに、本発明に用いるポリイミドは、共重合体の他にポリイミド混合物であってもよい。ポリイミド混合物は、ポリイミド前駆体であるポリアミド酸溶液の混合物を経由して合成することができる。

【0039】次に、本発明の埋め込み型の異形ポリイミド光導波路の製造方法を、図1を参照して説明する。図1は、コア幅がコア高さよりも大きく、かつコアを形成するためのエッチング深さがコア層の厚さよりも大きい本発明の異形ポリイミド導波路の製造方法である。図1中において、符号1は基板、符号2は下部クラッド層、符号3はコア層、符号4はコアパターンを形成するためのマスク層、符号5はレジスト層、符号6は上部クラッド層を示す。

【0040】シリコン等の基板1の上に下部クラッド層用のポリイミド材料(あるいはその前駆体であるポリアミド酸溶液)をスピンコート等の方法により塗布し、これを加熱等により硬化して、下部クラッド層を形成する。基板1としては、表面の平滑性に優れ、ポリイミドを形成するための熱処理に耐えうる材料を用いることができる。基板1として好ましい材料は、シリコンウェハ、アルミニウム、ステンレスもしくは鋼等の金属板、ポリイミド等の耐熱性樹脂基板、ガラス基板、またはセラミック基板等を含む。これら材料のなかでも、表面の平滑性、優れた耐熱性および低価格を考慮すると、シリコンウェハが好ましい材料である。

【0041】次に、図1(a)に示すように、下部クラッド層用ポリイミド材料よりも大きな屈折率を有するポリイミド材料を用いてコア層3を形成する。コア層3の形成方法としては、下部クラッド層2の形成と同様の方法を用いることができる。さらに、コア層3の上にコアパターンを得るためのマスク層4を形成する。マスク層としては、アルミニウムまたはチタンなどの金属、SiO₂、スピノングラス(SOG)、Si含有レジスト、感光性ポリイミドなどを用いることができる。

【0042】マスク層4を形成した後に、レジスト塗布、プリバーク、露光、現像、アフターバークの工程を行い、図1(b)に示すようなパターンニングされたレジスト層5を得る。この際に、パターンニングされたレジスト層の幅をコア層3の厚さよりも大きくすることによって、コア幅がコア高さよりも大きいコアを形成することができる。コア幅(すなわちレジスト層の幅)は、コア高さ(すなわちコア層の厚さ)の1倍より大きく、かつ2以下とすること(すなわち、コア幅対コア高さの比を1より大きく2以下とすること)が好ましい。

【0043】次に、図1(c)に示すように、レジスト層5により保護されていないマスク層4をエッチングして除去する。この際に、マスク層4としてSi含有レジストまたは厚膜の感光性ポリイミドを用いた場合には、それら材料を用いてパターンニングをすることが可能なので、レジスト層5を設ける必要はない。

【0044】そして、図1(d)に示すように、上記のようにパターンニングを伴って形成されたレジスト層5およびマスク層4をエッチングマスクとして用い、該エッチングマスクによって保護されていないコア層3をドライエッチングにより除去して、パターンニングされたコアを形成する。この際にドライエッチングの深さをコア層3の厚さよりも大きく設定することにより、下部クラッド層の一部をもエッチング除去している。

【0045】次に、図1(e)に示すように、残ったマスク層4を、ドライエッチングあるいは剥離液を用いることにより除去する。そして、図1(f)に示すように、コア層として用いたポリイミド材料よりも小さい屈折率を有するポリイミド材料を用いて上部クラッド層6

を形成する。その形成方法としては、下部クラッド層2を形成する方法と同様の方法を使用することができる。

【0046】以上の工程を経ることにより、埋め込み型の異形ポリイミド光導波路を作製することができる。さらに上記の基板上に形成された埋め込み型光導波路から基板を除去すること、および必要に応じて熱処理を行うことで、図1(g)に示すような、コア幅がコア高さより大きく、かつエッチング深さがコア高さより小さい埋め込み型の異形ポリイミドフィルム光導波路を作製することができる。

【0047】以上に述べた作製方法を一部変更することにより、種々の構造の異形ポリイミド光導波路を作製することができる。コア幅とコア高さを同一にしたい場合には、パターンニングされるレジスト層5あるいはマスク層4の幅を、コア層3の高さと同一にすればよいし、あるいはまたコア高さをコア幅より大きくしたい場合は、レジスト層5あるいはマスク層4の幅を、コア層3の高さよりも小さくすればよい。すなわち、コア幅は、フォトマスクの設計(具体的には、レジスト層5の幅、あるいはマスク層4としてSi含有レジストもしくは感光性ポリイミドを用いた場合のマスク層4の幅など)によって任意に選択することができる。

【0048】また、コア層のエッチング深さをコアの高さと同一にしたい場合には、コア層のエッチング量をコア層の厚さと同一にすればよいし、コア層のエッチング深さをコアの高さよりも小さくしたい場合には、コア層のエッチング量をコア層の厚さよりも小さく設定すればよい。さらに、コア層のエッチング量は、コア層のエッチング速度とエッチング時間の積によって決定される。したがって、コア層のエッチング速度をあらかじめ求めておけば、エッチング時間によってコア層のエッチング量を制御することが可能である。

【0049】さらに、スピコート法によりコア層3を形成する場合には、コア高さ(すなわちコア層の厚さ)はスピコートの回転数などにより制御することができる。以上に述べた種々のパラメータ(フォトマスクの設計、エッチング量、コア層の厚さなど)を適切に設定することにより、図2(a)~(h)に示すような、種々の構造を有する異形ポリイミド光導波路を作製することができる。

【0050】図2(a)~(c)は、コア幅 w がコア高さ h よりも大きい異形ポリイミド光導波路である。コア幅対コア高さの比(w/h)を、1より大きく2以下とすることによって、低損失のシングルモード光導波路を得ることができた。図2(d)~(f)は、コア幅がコア高さよりも大きい異形ポリイミド光導波路である。コア幅対コア高さの比を、0.7以上1未満とすることによって、低損失のシングルモード光導波路を得ることができた。たとえば、コア高さ h を7 μm 、およびコア幅 w を4.9 μm 、6.3 μm 、7.7 μm 、8.4 μm

および14.0 μm に設計すると、それぞれコア幅対コア高さの比が0.7、0.9の縦長コア断面、1.1、1.2および2.0の横長コア断面を有する光導波路を形成することができ、これらのコア断面を有する光導波路は、いずれも低損失であり、かつシングルモード導波路として機能する。

【0051】コア高さ h とエッチング深さ d の観点から見ると、図2(a)、(d)および(f)は、コア高さよりもエッチング深さが大きい異形ポリイミド光導波路である。これらのようにコア高さよりもエッチング深さを大きくする場合には、エッチング深さを、コア高さの100%より大きく130%以下とすることが好ましい。すなわち、コアが形成されていない部分の下部クラッド層の厚さは、コア高さの0%より大きくかつ30%以下の範囲内で、コアが形成されている部分の下部クラッド層の厚さよりも薄い。このようにエッチング深さをコア高さよりも大きくすることによって、エッチング終点をコアから遠ざけることが可能となり、エッチング終点における種々の形状効果、すなわちエッチング上面の表面荒れに基づく不良界面およびエッチング時に生じるコア側面脇のクラック等をコアから遠ざけることができる。したがって、コア側面の高精度な垂直性および均一性を達成することができ、それらエッチング終点の効果による性能劣化を抑制することができる。

【0052】一方、図2(c)、(e)および(h)は、エッチング深さよりもコア高さ h が大きい異形ポリイミド光導波路、すなわち突起部を有するコア層を有する異形ポリイミド光導波路である。これらのようにエッチング深さよりもコア高さ(すなわち、コア層の厚さ)を大きくする場合には、エッチング深さを、コア高さの70%以上100%未満とすることが好ましく、特に導波する光の閉じ込め効果を損なわないために、コア高さの90%以上100%未満とすることがより好ましい。すなわち、突起部以外のコア層の厚さは、コア高さの0%より大きく30%以下、より好ましくはコア高さの0%より大きく10%以下である。このようにコア高さをエッチング深さよりも大きくすることによって、コア部分の位置安定性を向上させるとともに、光導波路作製に伴う歪み(応力発生)により生じる性能劣化を抑制することができる。なお、この場合、突起部と突起部の下にあるコア層を併せた矩形領域11がコアとして機能する。

【0053】コア幅対コア高さの比あるいはエッチング深さを上記範囲外とすると、光導波路のシングルモード導波が困難となるばかりではなく、TEモードまたはTMモードの損失の増加、あるいはTEモードとTMモードとの損失の差(偏波依存損失)の増加をもたらす。

【0054】

【実施例】引き続いて、いくつかの実施例を用いて、本発明をさらに詳しく説明する。なお、種々のポリイミド共重合体および混合物の組合せにより、あるいは光導波

路構造の差異により、無数の異形ポリイミド光導波路が得られることは明らかであり、本発明がこれらの実施例のみに限定されるものではないことを理解すべきである。

【0055】作製した光導波路のコア形状の確認は、光学顕微鏡を用いて行った。また、作製した光導波路の導波モードと損失を、以下のように測定した。まず、入射端より、波長 $1.3\mu\text{m}$ の導波路フィルム面と平行な方向の偏波光（TEモード光）および波長 $1.3\mu\text{m}$ の導波路フィルム面と垂直な方向の偏波光（TMモード光）を入射した。光導波路の出射光の強度分布（ニアフィールドモードパターン）を測定することにより導波モードを求めた。また、入射光と出射光の強度差を光導波路長で除算し、単位長さ当たりの光損失を求めた。

【0056】（実施例1）4インチシリコン基板に対して、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（6FDA）と2,2'-ビス（トリフルオロメチル）-4,4'-ジアミノジフェニル（TFDB）とから合成されるポリイミド（6FDA/TFDB）の前駆体であるポリアミド酸の15質量%ジメチルアセトアミド（DMAc）溶液を、スピンコート法により塗布した。この塗膜を、乾燥窒素ガス雰囲気のイナートオープン中で加熱してイミド化し、ポリイミド（6FDA/TFDB）からなる下部クラッド層を形成した。

【0057】次に、この下部クラッド層上に、15モルのピロメリット酸二無水物（PMDA）と35モルの6FDAと50モルのTFDBとから合成されるポリイミド共重合体（30モルのPMDA/TFDBと70モルの6FDA/TFDBとからなるポリイミド共重合体）の前駆体であるポリアミド酸の15質量%DMAc溶液を、スピンコート法により塗布した。この塗膜を、乾燥窒素ガス雰囲気 of イナートオープン中で加熱してイミド化し、厚さ $7.1\mu\text{m}$ のコア層を形成した。

【0058】次に、このコア層上に、膜厚 $0.3\mu\text{m}$ のアルミニウム層（マスク層）を蒸着した。そして、このアルミニウム層上にポジ型フォトレジストをスピンコート法により塗布した後に、約95°においてプリベークを行った。次にパターン形成用のフォトマスクと超高圧水銀灯とを用いて紫外線を照射した後に、ポジ型レジスト用現像液を用いて現像し、135°においてポストベークを行った。このようにして、線幅 $10.3\mu\text{m}$ を有する直線状のパターンを有するレジスト層を形成した。

【0059】次に、ウェットエッチングにより露出しているアルミニウムを除去し、レジストパターンをアルミニウム層に転写した。さらに、転写されたパターンを有するアルミニウム層をマスクとして、コア層上面から $9.0\mu\text{m}$ の深さまでのコア層および下部クラッド層のポリイミドを、酸素プラズマを用いたドライエッチングにより除去した。そして、コア層上部に残存するマスク

として用いたアルミニウムを、エッチング液を用いて除去した。

【0060】そして、下部クラッド層と同一のポリイミド（6FDA/TFDB）の前駆体であるポリアミド酸の15質量%DMAc溶液を、スピンコート法により塗布した。この塗膜を、乾燥窒素ガス雰囲気 of イナートオープン中で加熱してイミド化し、上部クラッド層を形成した。最後に光導波路の両端を、ダイシングソーで切り落として、光の入出射端面を形成した。

10 【0061】このようにして、図2(a)に示すような、コア幅 w 対コア高さ h の比が1.45であり、エッチング深さがコア高さの12.7%である埋め込み型異形ポリイミド光導波路が得られた。コア3が形成されていない部分の下部クラッド層の厚さは、コア3が形成されている部分の下部クラッド層よりも、コア高さの2.7%（ $1.9\mu\text{m}$ ）薄い。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に 1.0dB/cm 以下であり、偏波依存損失は 0.5dB/cm 以下であった。

20 【0062】（実施例2）コア層を形成する材料として50モルの6FDAと12.5モルの4,4'-オキシジアニリン（ODA）と37.5モルのTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、25モルの6FDA/ODAと75モルの6FDA/TFDBとのポリイミド共重合体からなるコア層を形成し、コア高さ（コア層の厚さ）を $8.0\mu\text{m}$ とし、線幅を $11.5\mu\text{m}$ とし、エッチング深さを $9.1\mu\text{m}$ とした以外は、実施例1の方法を繰り返して、光導波路を形成した。

30 【0063】このようにして、図2(a)に示すような、コア幅 w 対コア高さ h の比が1.44であり、エッチング深さがコア高さの11.4%である埋め込み型異形ポリイミド光導波路が得られた。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に 1.0dB/cm 以下であり、偏波依存損失は 0.5dB/cm 以下であった。

40 【0064】（実施例3）コア層を形成する材料として50モルの6FDAと10モルのODAと40モルのTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、20モルの6FDA/ODAと80モルの6FDA/TFDBとのポリイミド共重合体からなるコア層を形成し、コア高さ（コア層の厚さ）を $8.0\mu\text{m}$ とし、線幅を $8.8\mu\text{m}$ とし、エッチング深さを $8.0\mu\text{m}$ とした以外は、実施例1の方法を繰り返して、光導波路を形成した。

50 【0065】このようにして、図2(b)に示すような、コア幅 w 対コア高さ h の比が1.10であり、エッチング深さがコア高さと同しい埋め込み型異形ポリイミド

ド光導波路が得られた。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に1.0 dB/cm以下であり、偏波依存損失は0.5 dB/cm以下であった。

【0066】(実施例4) コア層を形成する材料として50モル%の6FDAと20モル%のODAと30モル%のTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、40モル%の6FDA/ODAと60モル%の6FDA/TFDBとのポリアミド共重合体からなるコア層を形成し、コア高さ(コア層の厚さ)を7.0 μmとし、線幅を12.0 μmとし、エッチング深さを6.3 μmとした以外は、実施例1の方法を繰り返して、光導波路を形成した。

【0067】このようにして、図2(c)に示すような、コア幅w対コア高さhの比が1.71であり、エッチング深さがコア高さの90%である埋め込み型異形ポリイミド光導波路が得られた。すなわちコア部分11以外のコア層3の厚さは、コア高さの10%(0.7 μm)である。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に1.0 dB/cm以下であり、偏波依存損失は0.5 dB/cm以下であった。

【0068】(実施例5) 下部クラッド層および上部クラッド層を形成する材料として50モル%の6FDAと20モル%のODAと30モル%のTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、40モル%の6FDA/ODAと60モル%の6FDA/TFDBとのポリアミド共重合体からなる上部クラッドおよび下部クラッド層を形成し、コア高さ(コア層の厚さ)を8.0 μmとし、線幅を8.8 μmとし、エッチング深さを7.2 μmとした以外は、実施例1の方法を繰り返して、光導波路を形成した。

【0069】このようにして、図2(c)に示すような、コア幅w対コア高さhの比が1.10であり、エッチング深さがコア高さの90%である埋め込み型異形ポリイミド光導波路が得られた。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に1.0 dB/cm以下であり、偏波依存損失は0.5 dB/cm以下であった。

【0070】(実施例6) 下部クラッド層および上部クラッド層を形成する材料として50モル%の6FDAと5モル%のODAと45モル%のTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、10モル%の6FDA/ODAと90モル%の6FDA/TFDBとのポリアミド共重合体からなる上部クラッドおよび下部クラッド層を形成し、コア高さ(コア層の厚さ)を8.3 μmとし、線幅を8.3 μmとし、エッチング深

さを9.1 μmとした以外は、実施例1の方法を繰り返して、光導波路を形成した。

【0071】このようにして、図2(d)に示すような、コア幅w対コア高さhの比が1.00であり、エッチング深さがコア高さの110%である埋め込み型異形ポリイミド光導波路が得られた。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に1.0 dB/cm以下であり、偏波依存損失は0.5 dB/cm以下であった。

【0072】(実施例7) コア層を形成する材料として50モル%の6FDAと10モル%のODAと40モル%のTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、20モル%の6FDA/ODAと80モル%の6FDA/TFDBとのポリアミド共重合体からなるコア層を形成し、コア高さ(コア層の厚さ)を8.2 μmとし、線幅を8.2 μmとし、エッチング深さを6.5 μmとした以外は、実施例1の方法を繰り返して、光導波路を形成した。

【0073】このようにして、図2(e)に示すような、コア幅w対コア高さhの比が1.00であり、エッチング深さがコア高さの79%である埋め込み型異形ポリイミド光導波路が得られた。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に1.0 dB/cm以下であり、偏波依存損失は0.5 dB/cm以下であった。

【0074】(実施例8) 下部クラッド層および上部クラッド層を形成する材料として50モル%の6FDAと15モル%のODAと35モル%のTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、30モル%の6FDA/ODAと70モル%の6FDA/TFDBとのポリアミド共重合体からなる上部クラッドおよび下部クラッド層を形成し、コア層を形成する材料として100モル%の6FDAと50モル%のODAと50モル%のTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、50モル%の6FDA/ODAと50モル%の6FDA/TFDBとのポリアミド共重合体からなるコア層を形成し、コア高さ(コア層の厚さ)を8.0 μmとし、線幅を7.3 μmとし、エッチング深さを8.5 μmとした以外は、実施例1の方法を繰り返して、光導波路を形成した。

【0075】このようにして、図2(f)に示すような、コア幅w対コア高さhの比が0.91であり、エッチング深さがコア高さの106%である埋め込み型異形ポリイミド光導波路が得られた。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に1.0 dB/cm以下であり、偏波依存損失は0.5 dB/cm以下であった。本実施例によって、コア幅

がコア高さより小さい光導波路、すなわち基板面に対して微細で高密度な光導波路を作製することができた。

【0076】(実施例9) 下部クラッド層および上部クラッド層を形成する材料として50モル%の6FDAと5モル%のODAと45モル%のTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、10モル%の6FDA/ODAと90モル%の6FDA/TFDBとのポリイミド共重合体からなる上部クラッドおよび下部クラッド層を形成し、コア高さ(コア層の厚さ)を7.5 μ mとし、線幅を6.1 μ mとし、エッチング深さを7.5 μ mとした以外は、実施例1の方法を繰り返して、光導波路を形成した。

【0077】このようにして、図2(g)に示すような、コア幅w対コア高さhの比が0.81であり、エッチング深さがコア高さと同じである埋め込み型異形ポリイミド光導波路が得られた。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に1.0dB/cm以下であり、偏波依存損失は0.5dB/cm以下であった。本実施例によって、コア幅がコア高さより小さい光導波路、すなわち基板面に対して微細で高密度な光導波路を作製することができた。

【0078】(実施例10) コア層を形成する材料として50モル%の6FDAと12.5モル%のODAと37.5モル%のTFDBとから合成されるポリアミド酸のDMAc溶液を用いて、25モル%の6FDA/ODAと75モル%の6FDA/TFDBとのポリイミド共重合体からなる上部クラッドおよび下部クラッド層を形成し、コア高さ(コア層の厚さ)を8.1 μ mとし、線幅を6.0 μ mとし、エッチング深さを7.3 μ mとした以外は、実施例1の方法を繰り返して、光導波路を形成した。

【0079】このようにして、図2(h)に示すような、コア幅w対コア高さhの比が0.74であり、エッチング深さがコア高さの90%である埋め込み型異形ポリイミド光導波路が得られた。この光導波路のTEモードでの導波光は、シングルモードであった。また、この光導波路のTEモードおよびTMモードでの損失は、共に1.0dB/cm以下であり、偏波依存損失は0.5dB/cm以下であった。本実施例によって、コア幅がコア高さより小さい光導波路、すなわち基板面に対して微細で高密度な光導波路を作製することができた。

【0080】(実施例11~20) コア層のエッチングマスクとして用いたアルミニウムと、マスクパターンの形成に用いたポジ型フォトリソに代えて、対酸素プラズマ性に優れたシリコン系レジストをマスク層として用い、該シリコン系レジストをパターニングしたことを除いて、実施例1~10の方法を繰り返して、実施例11~20の光導波路を作製した。実施例11~20の光導波路の導波モードはいずれもシングルモードであった。さらに、実施例11~20の光導波路のTEモードおよびTMモードにおける損失、ならびに偏波依存損失は、いずれも実施例1~10の光導波路と同等であった。

【0081】(比較例1) コア高さ(コア層の厚さ)を8.2 μ mとし、線幅を8.2 μ mとし、エッチング深さを8.2 μ mとした以外は、実施例1の方法を繰り返して、コア幅w対コア高さhの比が1.00であり、エッチング深さがコア高さと同じである埋め込み型異形ポリイミド光導波路を形成した。

【0082】しかし、この光導波路は、光の入出射端面の位置、すなわち4インチウェハからの切り出し位置が異なることにより、TEモードおよびTMモードにおける損失が変動した。さらに、実施例1~5および実施例7と比較して、コアパターンのうねり等による加工不良の発生が多かった。

【0083】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の異形ポリイミド光導波路は、従来のポリイミド光導波路と比較して、TEモードおよびTMモードにおける損失が低くなるばかりではなく、パターン加工精度の向上および基板面内の実装密度の向上を図ることができる。

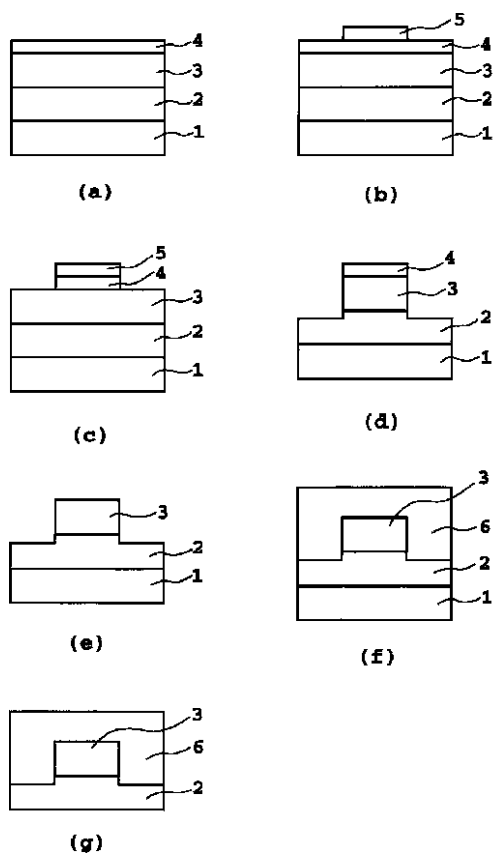
【0084】本発明の異形ポリイミド光導波路は、種々の光配線(高密度または低密度、直線または曲線、種々の形状を有する光出射面および光入射面との高効率な接続)に適用することができ、および分岐回路あるいは方向性結合器を含む光部品にも適用することができる。さらに、本発明のポリイミド光導波路は、クラックあるいは応力に伴う性能劣化の抑制効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

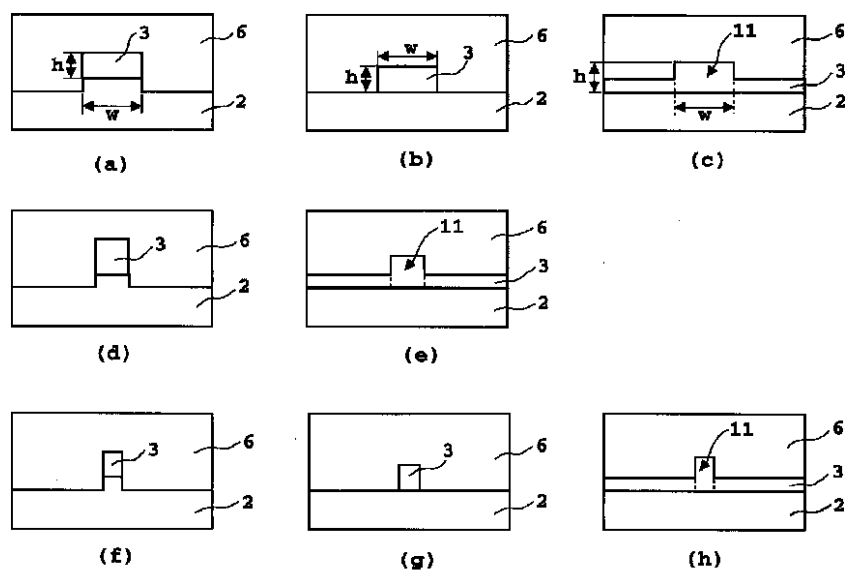
【図1】本発明の異形ポリイミド光導波路の製造方法を示す流れ図である。

【図2】本発明の異形ポリイミド光導波路の概略の断面図である。

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 安藤 慎治
東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 山本 二三男
東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 山田 典義
東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日
本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2H047 KA04 PA24 PA28 QA05 TA35