

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4318036号
(P4318036)

(45) 発行日 平成21年8月19日 (2009. 8. 19)

(24) 登録日 平成21年6月5日 (2009. 6. 5)

(51) Int. Cl.

G 0 2 B 6 / 1 2 2 (2006. 01)

F 1

G 0 2 B 6 / 1 2

A

請求項の数 7 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2004-39090 (P2004-39090)	(73) 特許権者	000002945
(22) 出願日	平成16年2月16日 (2004. 2. 16)		オムロン株式会社
(65) 公開番号	特開2005-227731 (P2005-227731A)		京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町
(43) 公開日	平成17年8月25日 (2005. 8. 25)		8 0 1 番地
審査請求日	平成19年1月24日 (2007. 1. 24)	(74) 代理人	100094019
			弁理士 中野 雅房
		(72) 発明者	佐野 彰彦
			京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不
			動堂町8 0 1 番地 オムロン株式会社内
		(72) 発明者	三角 修一
			京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不
			動堂町8 0 1 番地 オムロン株式会社内
		(72) 発明者	畑村 章彦
			京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不
			動堂町8 0 1 番地 オムロン株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

クラッド層内にコアが埋め込まれ、前記コアの長さ方向に垂直な断面内で、クラッド層の表面からの距離に応じて前記コアの上面と平行な方向に測ったコアの幅が次第に増加又は減少する光導波路において、

前記コアの幅の狭い側の面と前記クラッド層との境界面近傍に、前記コアより屈折率の大きな又は前記クラッド層よりも屈折率の小さな屈折率調整領域が形成され、

前記コアの上面に垂直な方向における前記コア内を伝搬する光のモードプロファイルが、前記屈折率調整領域が存在しない場合よりも対称に近くなるように、前記屈折率調整領域の屈折率を定めたことを特徴とする光導波路。

10

【請求項 2】

前記屈折率調整領域は、前記クラッド層又は前記コアを改質することにより形成されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の光導波路。

【請求項 3】

前記屈折率調整領域は、前記コアと前記クラッド層との境界面にコア及びクラッド層と異なる材料を堆積させることにより形成されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の光導波路。

【請求項 4】

上クラッド層と下クラッド層の間にコアが埋め込まれ、前記コアの長さ方向に垂直な断面内で、クラッド層どうしの境界面からの距離に応じて前記コアの上面と平行な方向に測

20

ったコアの幅が次第に増加又は減少する光導波路において、

前記コアの幅の広い側の面といずれかの前記クラッド層との境界面近傍に、前記コアよりも屈折率が小さく、且つ、前記コアの幅の狭い側の面と接するクラッド層よりも屈折率が大きな屈折率調整領域が形成され、

前記コアの上面に垂直な方向における前記コア内を伝搬する光のモードプロファイルが、前記屈折率調整領域が存在しない場合よりも対称に近くなるように、前記屈折率調整領域の屈折率を定めたことを特徴とする光導波路。

【請求項 5】

前記屈折率調整領域は、前記コア又はコアの幅の広い側の面と接するクラッド層を改質することにより形成されていることを特徴とする、請求項 4 に記載の光導波路。

10

【請求項 6】

前記屈折率調整領域は、上クラッド層と下クラッド層のうちコアの幅の広い側の面と接している側のクラッド層全体であることを特徴とする、請求項 4 に記載の光導波路。

【請求項 7】

前記屈折率調整領域は、前記コアといずれかの前記クラッド層との境界面に当該コア及びクラッド層と異なる材料を堆積させることにより形成されていることを特徴とする、請求項 4 に記載の光導波路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、光通信のデバイスとして用いられる光導波路に関する。

【背景技術】

【0002】

光導波路は、光ファイバとの結合損失を低減するためにコアの断面形状が矩形状になるように作製するのが理想である。しかし、スタンプを用いて複製で作製する場合、スタンプに形成された抜きテーパ等により、コアの断面は矩形状にならずにテーパのついた形状（台形状）になってしまう（特許文献 1 など）。図 1 はテーパ状のコア断面を有する光導波路の一例を示す概略斜視図である。この光導波路 10 にあっては、上下のガラス基板 11、12 の間に下クラッド層 13 と上クラッド層 14 を積層したものを挟み込んでいる。下クラッド層 13 の上面に設けたコア溝 15 内には、コア 16 が充填されている。

30

【0003】

このような光導波路 10 は、例えばスタンプ法により下クラッド層 13 が製作される。この方法では、ガラス基板 11 の上に紫外線硬化型樹脂を滴下し、スタンプで紫外線硬化型樹脂を押さえて基板とスタンプの間に押し広げ、紫外線照射により紫外線硬化型樹脂を硬化させて下クラッド層 13 を成形する。このとき下クラッド層 13 の上面にはスタンプが有する凸形状によりコア溝 15 が成形されるが、スタンプが離型しやすいように凸形状の両側面には離型させる方向に傾斜したテーパが付与されているので、コア溝 15 の両側面にも深さ方向に沿ったテーパが形成される。ついで、下クラッド層 13 の上面に形成されたコア溝 15 にコア材料を充填させてコア 16 を成形し、下クラッド層 13 とガラス基板 12 との間に上クラッド層 14 を成形して下クラッド層 13 と上クラッド層 14 の間に

40

【0004】

また、下クラッド層を射出成形により成形する方法でも、成形金型内で樹脂成形された下クラッド層から成形金型を容易に離型させるため、コア溝の深さ方向に沿ってテーパがつけられる。また、半導体製造プロセスを利用して下クラッド層の上にコア材料の層を堆積させた後にエッチングでコアを形成する場合でも、露光時にコア材料層の深さ方向に光が広がるので、エッチングした後のコアにはテーパがついてしまう。よって、これらの製法の場合でも、コアにテーパがついているので、コアの断面もテーパ状となる。

【0005】

50

このようにしてコアの長さ方向に垂直な断面に深さ方向もしくは高さ方向に沿ってテーパがついていて、コアの下面からの高さによってコア断面の幅が異なる。そのため、コア断面の幅が狭い部分は、コア断面の幅が広い部分と比較して等価屈折率が小さくなる。コアの等価屈折率が小さいと、その等価屈折率と下クラッド層や上クラッド層の屈折率との差が小さくなるので、コア断面の幅が狭い部分では、コア断面の幅が広い部分よりもコア内の光の閉じ込めが弱くなる。そのため、コア断面にテーパがついていて、コア断面の幅の変化に起因して高さ方向のモードプロファイルがコア中央に対して非対称になる現象が生じる。

【0006】

図2(a)は上面でコア幅が広く、下面でコア幅が狭いテーパ状断面を有するコア16と上下クラッド層13、14を示し、図2(b)はコア16の断面の左右の中央において高さ方向に沿った屈折率の変化を示し、図2(c)に実線で示す曲線は当該コア16内を伝搬する光信号のモードプロファイルを示している。図2(c)の縦軸はコア16の断面の高さ方向の中央から測った高さを表し、横軸はコア16内を伝搬する光信号の強度を表す。また、図2(c)に破線で示す曲線は、断面が矩形状をしたコアの理想的なモードプロファイルを示す。図2(c)に破線で示す理想的なモードプロファイルでは、コア断面の高さ方向の中央に関して対称な曲線を描いている。これに対し、テーパのついたコア断面の場合には、コア16の下面において下クラッド層13側への光の漏れが大きくなっており、そのモードプロファイルが非対称となっている。

【0007】

このようにして、コア断面にテーパのついた従来の光導波路では、コアのモードプロファイルが上下方向で非対称になるので、コア内部を伝搬する光が上下方向で対称なモードプロファイルとなる光ファイバとの接続損失が大きくなるという問題があった。

【0008】

【特許文献1】特開2003-240991号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は上記のような技術的課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、コア断面の形状に起因して発生する非対称なモードプロファイルを持つ光導波路においてそのモードプロファイルの非対称性を低減させることにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明にかかる第1の光導波路は、クラッド層内にコアが埋め込まれ、前記コアの長さ方向に垂直な断面内で、クラッド層の表面からの距離に応じて前記コアの上面と平行な方向に測ったコアの幅が次第に増加又は減少する光導波路において、前記コアの幅の狭い側の面と前記クラッド層との境界面近傍に、前記コアより屈折率の大きな又は前記クラッド層よりも屈折率の小さな屈折率調整領域が形成され、前記コアの上面に垂直な方向における前記コア内を伝搬する光のモードプロファイルが、前記屈折率調整領域が存在しない場合よりも対称に近くなるように、前記屈折率調整領域の屈折率を定めたものである。なお、ここでいうクラッド層とは、上クラッド層でも下クラッド層でもよく、単体のクラッド層でもよい。また、クラッド層の表面からの距離とは、クラッド層の表面から測ったコアの高さ方向又は深さ方向における距離である。

【0011】

本発明の第1の光導波路においては、前記コアの長さ方向に垂直な断面内で、クラッド層の表面からの距離に応じて前記コアの上面と平行な方向に測ったコアの幅が次第に増加又は減少する光導波路において、前記コアの幅の狭い側の面と前記クラッド層との境界面近傍に、前記コアより屈折率の大きな屈折率調整領域を形成することにより、前記断面の前記コアを有する領域において前記コアの上方と下方とで上下方向における屈折率の分布を非対称とし、コアの幅の狭い側において、コア（屈折率調整領域）における等価屈折率

とクラッド層の屈折率との屈折率差を大きくして光の閉じ込めをコアの幅の広い側と同程度に強くすることができるので、コア内を伝搬する光の強度のプロファイルを対称に近づけることができる。また、前記クラッド層より屈折率の小さな屈折率調整領域を形成することにより、コアの幅の狭い側において、コアの等価屈折率とクラッド層（屈折率調整領域）の屈折率との屈折率差を大きくして光の閉じ込めをコアの幅の広い側と同程度に強くすることができるので、コア内を伝搬する光の強度のプロファイルを対称に近づけることができる。これにより、光ファイバ等との結合効率を高めることができる。

【 0 0 1 2 】

第1の光導波路の実施態様においては、前記屈折率調整領域を、前記クラッド層又は前記コアを改質することにより形成することができる。例えば、クラッド層やコアに金属や半導体のイオンを打ち込んだり、拡散させたりすることにより任意の深さで改質することができる。

10

【 0 0 1 3 】

また、第1の光導波路の別な実施態様においては、前記屈折率調整領域を、前記コアと前記クラッド層との境界面にコア及びクラッド層と異なる材料を堆積させることにより形成することができる。堆積させる材料としては、金属や半導体を用いることができる。かかる方法によれば、光集積回路の製造工程において簡単に屈折率調整領域を形成することができる。

【 0 0 1 4 】

本発明にかかる第2の光導波路は、上クラッド層と下クラッド層の間にコアが埋め込まれ、前記コアの長さ方向に垂直な断面内で、クラッド層どうしの境界面からの距離に応じて前記コアの上面と平行な方向に測ったコアの幅が次第に増加又は減少する光導波路において、前記コアの幅の広い側の面といずれかの前記クラッド層との境界面近傍に、前記コアよりも屈折率が小さく、且つ、前記コアの幅の狭い側の面と接するクラッド層よりも屈折率が大きな屈折率調整領域が形成され、前記コアの上面に垂直な方向における前記コア内を伝搬する光のモードプロファイルが、前記屈折率調整領域が存在しない場合よりも対称に近くなるように、前記屈折率調整領域の屈折率を定めたものである。なお、クラッド層どうしの境界面からの距離とは、クラッド層どうしの境界面から測ったコアの高さ方向又は深さ方向における距離である。

20

【 0 0 1 5 】

本発明の第2の光導波路においては、前記コアの長さ方向に垂直な断面内で、クラッド層どうしの境界面からの距離に応じて前記コアの上面と平行な方向に測ったコアの幅が次第に増加又は減少する光導波路において、前記コアの幅の広い側の面といずれかのクラッド層との境界面近傍に、コアよりも屈折率が小さく、且つ、コアの幅の狭い側の面と接するクラッド層よりも屈折率が大きな屈折率調整領域を形成することにより、前記断面の前記コアを有する領域において前記コアの上方と下方とで上下方向における屈折率の分布を非対称とし、コアの幅の広い側において、コアの等価屈折率と屈折率調整領域の屈折率との屈折率差を小さくして光の閉じ込めをコアの幅の狭い側と同程度に弱くすることができるので、コア内を伝搬する光の強度のプロファイルを対称に近づけることができる。これにより、光ファイバ等との結合効率を高めることができる。

30

40

【 0 0 1 6 】

第2の光導波路の実施態様においては、前記屈折率調整領域を、前記コア又はコアの幅の広い側の面と接するクラッド層を改質することにより形成することができる。例えば、クラッド層やコアに金属や半導体のイオンを打ち込んだり、拡散させたりすることにより任意の深さで改質することができる。

【 0 0 1 7 】

また、第2の光導波路の別な実施態様においては、前記屈折率調整領域を、上クラッド層と下クラッド層のうちコアの幅の広い側の面と接している側のクラッド層全体としている。

【 0 0 1 8 】

50

また、第2の光導波路の別な実施態様においては、前記屈折率調整領域を、前記コアといずれかの前記クラッド層との境界面に当該コア及びクラッド層と異なる材料を堆積させることにより形成することができる。堆積させる材料としては、金属や半導体を用いることができる。かかる方法によれば、光集積回路の製造工程において簡単に屈折率調整領域を形成することができる。

【0021】

なお、この発明の以上説明した構成要素は、可能な限り任意に組み合わせることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下本発明を実施例に従って具体的に説明する。なお、以下に説明する実施例は一例であって、本発明は下記実施例に限定されるものではない。

【0023】

図3は本発明の一実施例による光導波路を示す斜視図である。この光導波路20においては、下面側のガラス基板21と上面側のガラス基板22との間で、下クラッド層23と上クラッド層24を積層している。下クラッド層23の上面に形成されたコア溝25内には、コア26を設けている。コア26の両側面はテーパを付与されており、コア26の断面は下面側で幅の狭い台形となっている。また、コア26の下面（最も幅の狭い面）と下クラッド層23との間に低屈折率層27を設けている。下クラッド層23及び上クラッド層24は透明樹脂によって形成されており、等しい屈折率を有している。好ましくは、下クラッド層23と上クラッド層24は同じ透明樹脂によって成形される。コア26は、下クラッド層23及び上クラッド層24よりも屈折率の大きな透明樹脂によって形成されている。低屈折率層27は、下クラッド層23よりも小さな屈折率を有している。コア26の高さを6 μ mとすれば、低屈折率層27の厚みは0.5～1.0 μ m程度となっている。

【0024】

なお、図3ではコア溝25の下面の表面に低屈折率層27を設けているが、図4に示すように、コア溝25の下面から少し深い位置に低屈折率層27が埋まってもよい。また、図示しないが、低屈折率層27はコア26内の下面近傍に位置していても差し支えない。ただし、その場合は、コア26の中心が上方へ移動するので、光の強度のプロファイルの中心も上方へずれる。

【0025】

図5(a)～(d)は、図3に示した光導波路20の製造工程を説明する概略図である。まず、ガラス基板21の上面に紫外線硬化型樹脂を滴下し、これをスタンプ31で押えてスタンプ31とガラス基板21の間に紫外線硬化型樹脂を押し広げる。紫外線照射により紫外線硬化型樹脂を硬化させて下クラッド層23を成形した後、スタンプ31を下クラッド層23から離型させる。こうして成形された下クラッド層23には、コア溝25が形成される(図5(a))。スタンプ31には下面側で幅の狭くなった断面台形状の凸部が設けられているので、コア溝25の断面は両側面にテーパのついた断面逆台形となる。

【0026】

ついで、コア溝25の全長にわたってその下面に真空蒸着で金属やSi等の半導体を堆積させる。この金属や半導体としては、下クラッド層23の屈折率を低下させるものや、下クラッド層23に拡散して下クラッド層23の屈折率を低下させる不純物となるものなどが好ましい。コア溝25の下面に金属や半導体を堆積させると、屈折率が低下するので、コア溝25の下面には下クラッド層23よりも低屈折率の低屈折率層27が形成される(図5(b))。あるいは、コア溝25の下面に金属イオンや水素イオン、ヘリウムイオン等を打ち込み、イオン注入によりコア溝25の下面を改質して低屈折率層27を形成しても良い。

【0027】

この後、コア溝25内にコア材料の樹脂を充填させてコア26を形成する(図5(c))。さらに、下クラッド層23及びコア26の上に紫外線硬化型樹脂を滴下し、これをガ

10

20

30

40

50

ラス基板 2 2 で押えてガラス基板 2 2 と下クラッド層 2 3 の間に押し広げる。ここに紫外線照射すると、紫外線硬化型樹脂が硬化して上クラッド層 2 4 が成形され、光導波路 2 0 が製作される (図 5 (d)) 。

【 0 0 2 8 】

図 6 は、図 3 に示した実施例の作用を説明する図であって、図 6 (a) は光導波路 2 0 のコア近傍を示す概略図、図 6 (b) はコア 2 6 の中央における高さ方向に沿った屈折率の変化を示す図、図 6 (c) はコア内を伝搬する光信号のモードプロファイルを表わす図である。図 6 (c) の縦軸はコア断面の高さ方向の中央から測った高さを表し、横軸はコア内を伝搬する光信号の強度を表しており、実線で表した曲線は当該コア 2 6 内を伝搬する光信号のモードプロファイルを示し、2 点鎖線で表した曲線は図 2 (c) に実線で示した従来例のモードプロファイルである。

10

【 0 0 2 9 】

低屈折率層 2 7 のない従来例の場合には、コア 2 6 の幅が下面側で狭くなっているために、コア 2 6 の底部で等価屈折率が小さくなり、その結果コア 2 6 の底部の等価屈折率と下クラッド層 2 3 の屈折率との差が小さくなるので、図 6 (c) に 2 点鎖線で示すように、コア 2 6 の下面からの光の漏れが大きくなり、モードプロファイルが非対称となる。

【 0 0 3 0 】

本実施例の場合には、コア 2 6 の下面と下クラッド層 2 3 との境界面近傍に低屈折率層 2 7 が設けられており (図 6 (a)) 、この低屈折率層 2 7 は下クラッド層 2 3 よりも屈折率が小さいので、低屈折率層 2 7 は下クラッド層 2 3 の一部と考えることができる。よって、本実施例ではコア 2 6 の下面と下クラッド層 2 3 との境界面においてはコア 2 6 の等価屈折率と低屈折率層 2 7 の屈折率との差 Δn が、低屈折率層 2 7 のない場合よりも大きくなる (図 6 (b)) 。その結果、コア 2 6 の下面における光の閉じ込めが強くなり、図 6 (c) に示す実線の曲線のように、モードプロファイルの非対称の度合いが緩和される。モードプロファイルが対称に近くなることにより、台形状の断面を有するコア 2 6 における 2 次元の強度分布も同心円状の分布となる。そして、モードプロファイルが対称に近くなることにより、光ファイバとの結合効率も向上する。

20

【 0 0 3 1 】

モードプロファイルを対称にするために、断面が台形をしたコアの屈折率を、幅の大きな側から幅の小さな側へ向けて次第に大きくすることも考えられるが、このような方法では、コアの製作に手間が掛かり、コストが上昇する。また、コア内の全体で屈折率が変化するので、コア内を伝搬する信号の波形が歪む恐れがある。これに対し、本実施例の場合には、コア 2 6 内の全体で屈折率は均一であるので、光導波路 2 0 の製作が容易で、また、伝搬する信号の波形が歪みにくい。

30

【 0 0 3 2 】

図 7 及び図 8 は光導波路 2 0 において上記低屈折率層 2 7 の屈折率を変化させたときのモードプロファイルの変化をシミュレーションにより描いたものである。図 7 はコア 2 6 の高さ方向の中央よりも上側のモードプロファイルを表わし、図 8 はコア 2 6 の高さ方向の中央よりも下側のモードプロファイルを表わし、いずれも縦軸は高さを示し、横軸は光信号の強度を示している。図 7 及び図 8 に示されているモードプロファイルのシミュレーション条件は、コア 2 6 の中央での高さ及び幅をいずれも $6 \mu\text{m}$ とし、コア 2 6 と下クラッド層 2 3 との屈折率の差がコア 2 6 の屈折率の 0.37% とした。また、低屈折率層 2 7 の厚みは $1 \mu\text{m}$ とし、低屈折率層 2 7 の幅はコア 2 6 の下面の幅と等しいものとした。そして、下クラッド層 2 3 の屈折率と低屈折率層 2 7 の屈折率との差が、下クラッド層 2 3 の屈折率より 0.00% 、 0.01% 、 0.03% 、 0.04% 、 0.06% 、 0.07% 低い 6 パターンについてモードプロファイルを求めた。図 7 及び図 8 はこの結果を表したものである。

40

【 0 0 3 3 】

ここで、図 7 に示した上側のモードプロファイルにおいては、例えば強度が $0.300 [\text{a.u.}]$ となる箇所の高さを見ると、低屈折率層 2 7 の屈折率によらずコア 2 6 の中央から

50

約 $4.210\ \mu\text{m}$ の高さとなっている。従って、モードプロファイルが対称であれば、コア 26 の中央からの高さが $-4.210\ \mu\text{m}$ においても強度が $0.300\ [\text{a.u.}]$ となる筈である。そこで、図 8 のモードプロファイルを見ると、低屈折率層 27 の屈折率を、下クラッド層 23 の屈折率より 0.06% 低下させた場合において、高さ約 $-4.210\ \mu\text{m}$ のときに強度が $0.300\ [\text{a.u.}]$ となることが分かる。よって、低屈折率層 27 の屈折率を、下クラッド層 23 の屈折率より、 0.06% だけ小さくするようにすれば、ほぼ対称なモードプロファイルが得られることが分かる。

【0034】

上記実施例では、コア 26 の下面と下クラッド層 23 との境界面近傍に下クラッド層 23 よりも屈折率の低い層を設けたが、この境界面近傍にコア 26 よりも屈折率が少し大きな層を設けてもよい。図 9 はこのような実施例を説明する図である。図 9 (a) はこの光導波路のコア近傍を示す概略図であって、コア 26 は下面側で幅が狭くなった断面台形をしており、コア 26 の底部近傍にコア 26 よりも屈折率のやや大きな高屈折率層 28 が設けられている。図 9 (b) はコア 26 の中央における高さ方向に沿った屈折率の変化を示す図である。図 9 (c) はコア内を伝搬する光信号のモードプロファイルを表わす図であって、実線で表した曲線は当該コア 26 内を伝搬する光信号のモードプロファイルを示し、2 点鎖線で表した曲線は従来例のモードプロファイルである。

【0035】

なお、図 9 (a) ではコア 26 の下面に高屈折率層 28 を設けているが、コア 26 の下面から少し上に高屈折率層 28 を位置させてもよい。また、高屈折率層 28 はコア溝 25 内の下面近傍 (下クラッド層 23) に位置していても差し支えない。

【0036】

図 9 に示す実施例の場合には、コア 26 の下面と下クラッド層 23 との境界面近傍に高屈折率層 28 が設けられており (図 9 (a))、この高屈折率層 28 はコア 26 よりも屈折率が大いので、高屈折率層 28 はコア 26 の一部と考えることができる。よって、本実施例ではコア 26 の下面と下クラッド層 23 との境界面における高屈折率層 28 の等価屈折率と下クラッド層 23 の屈折率との差 Δn が、高屈折率層 28 のない場合よりも大きくなる (図 9 (b))。その結果、コア 26 の下面における光の閉じ込めが強くなり、図 9 (c) に示す実線の曲線のように、モードプロファイルの非対称の度合いが緩和される。モードプロファイルが対称に近くなることにより、台形状の断面を有するコア 26 における 2 次元の強度分布も同心円状の分布となる。そして、モードプロファイルが対称に近くなることにより、光ファイバとの結合効率も向上する。ただし、本実施例においては、高屈折率層 28 の屈折率の影響を受けて光の強度のプロファイルの中心が下方にずれるので、光ファイバの接続位置が下方へ移動する。

【0037】

また、本実施例の場合も、コア 26 内の全体で屈折率は均一であるので、光導波路 20 の製作が容易で、また、伝搬する信号の波形が歪みにくい。

【0038】

図 10 (a) ~ (d) は、図 9 に示した光導波路の製造工程を説明する概略図である。まず、ガラス基板 21 の上面に、コア溝 25 を有する下クラッド層 23 を成形する (図 10 (a))。コア溝 25 の断面は、両側面にテーパのついた断面逆台形となっている。

【0039】

ついで、コア溝 25 の全長にわたってその下面に真空蒸着で金属や Si 等の半導体を堆積させる。この金属や半導体としては、コア 26 に不純物として拡散し、コア 26 の屈折率を高くするものを用いることができる。コア溝 25 の下面にこのような金属や半導体を堆積させると、コア 26 の屈折率が高くなるので、コア 26 の下面にはコア 26 よりも高屈折率の高屈折率層 28 が形成される (図 10 (b))。

【0040】

この後、コア溝 25 内にコア材料の樹脂を充填させてコア 26 を作る (図 10 (c))。ついで、下クラッド層 23 及びコア 26 の上面とガラス基板 22 との間に上クラッド層

10

20

30

40

50

24を成形して光導波路を作製する(図10(d))。

【0041】

なお、この場合のモードプロファイルのシミュレーションの様子は省略するが、図7及び図8と同様な様子となる。

【0042】

図11は本発明の別な実施例であって、コア26の上面(最も幅の広い面)と上クラッド層24との境界面において、上クラッド層24には上クラッド層24よりも屈折率が高く、かつ、コア26よりも屈折率が小さな中間屈折率層29を形成した光導波路30を示している。

【0043】

なお、図11では上クラッド層24の下面に中間屈折率層29を設けているが、上クラッド層24の下面から少し上に中間屈折率層29を位置させてもよい。また、中間屈折率層29はコア26の上面近傍に位置していても差し支えない。

【0044】

図12(a)~(d)は、図11に示した光導波路30の製造工程を説明する概略図である。まず、ガラス基板21の上面に紫外線硬化型樹脂を滴下し、これをスタンプ31で押えてスタンプ31とガラス基板21の間に紫外線硬化型樹脂を押し広げる。紫外線照射により紫外線硬化型樹脂を硬化させて下クラッド層23を成形した後、スタンプ31を下クラッド層23から離型させる。こうして成形された下クラッド層23には、コア溝25が形成される(図12(a))。コア溝25の断面は両側面にテーパのついた断面逆台形となる。このコア溝25にコア材料の樹脂を充填させてコア26を形成する(図12(b))。

【0045】

ついで、コア26の上面に金属や半導体を堆積させることにより、上クラッド層24よりも屈折率が大きく、且つ、コア26よりも屈折率が小さい中間屈折率層29をコア26の上面に形成する(図12(c))。

【0046】

この後、下クラッド層23及び中間屈折率層29の上に紫外線硬化型樹脂を滴下し、これをガラス基板22で押えてガラス基板22と下クラッド層23の間に押し広げる。ここに紫外線照射すると、紫外線硬化型樹脂が硬化して上クラッド層24が成形され、光導波路30が製作される(図12(d))。

【0047】

図11に示す実施例ではコア26の上面と上クラッド層24との境界面近傍に設けられた中間屈折率層29の屈折率はコア26の屈折率よりもやや小さく、且つ、上クラッド層24の屈折率よりもやや大きいので(図13(a))、コア26の上面と上クラッド層24との境界面におけるコア26の等価屈折率と中間屈折率層29の屈折率との差 Δn が、中間屈折率層29のない場合よりも小さくなる(図13(b))。その結果、コア26の上面における光の閉じ込めが弱くなり、図13(c)に示す実線の曲線のように、モードプロファイルの非対称の度合いが緩和される。モードプロファイルが対称に近くなることにより、台形状の断面を有するコア26における2次元の強度分布も同心円状の分布となる。そして、モードプロファイルが対称に近くなることにより、光ファイバとの結合効率も向上する。

【0048】

図14及び図15は光導波路30において、上記中間屈折率層29の屈折率を変化させたときのモードプロファイルの変化をシミュレーションにより描いたものである。図14及び図15のシミュレーションは、図7及び図8の場合と同じ条件でシミュレーションしたものである。また、図14及び図15には、中間屈折率層29の屈折率と上クラッド層24の屈折率との差が、上クラッド層24の屈折率より0.00%、0.01%、0.03%、0.04%、0.06%、0.07%高い6パターンについてモードプロファイルを描いている。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 9 】

ここで、図 1 5 に示した下側のモードプロファイルにおいては、例えば強度が 0.300 [a.u.]となる箇所の高さを見ると、中間屈折率層 2 9 の屈折率によらずコア中央から約 - 4.400 μm の高さとなっている。従って、モードプロファイルが対称であれば、コア 2 6 の中央からの高さが 4.400 μm においても強度が 0.300 [a.u.]となる筈である。そこで、図 1 4 のモードプロファイルを見ると、中間屈折率層 2 9 の屈折率を、上クラッド層 2 4 の屈折率より 0.120 % 高く（外挿法による）した場合において、高さ約 4.400 μm のときに強度が 0.300 [a.u.]となることが分かる。よって、中間屈折率層 2 9 の屈折率を、上クラッド層 2 4 の屈折率より 0.120 % だけ高くなるようにすれば、ほぼ対称なモードプロファイルが得られることが分かる。

10

【 0 0 5 0 】

図 1 1 の実施例では、コア 2 6 の上に中間屈折率層 2 9 を形成したが、これと同等な方法としては、上クラッド層 2 4 全体の屈折率を高くしてもよい。すなわち、図 1 6 に示す実施例では、上クラッド層 2 4 の屈折率を下クラッド層 2 3 の屈折率よりも高く、かつ、コア 2 6 の屈折率よりも低くしている。

【 0 0 5 1 】

図 1 7 (a) ~ (c) は図 1 6 の実施例による光導波路 3 2 の製造手順を説明する図である。まず、断面が台形のコア溝 2 5 を有する下クラッド層 2 3 をガラス基板 2 1 の上に成形する（図 1 7 (a)）。ついで、コア溝 2 5 内にコア材料の樹脂を充填させてコア 2 6 を形成する（図 1 7 (b)）。この後、下クラッド層 2 3 及びコア 2 6 の上面とガラス

20

【 0 0 5 2 】

図 1 8 は、図 1 6 に示した実施例の作用を説明する図であって、図 1 8 (a) は光導波路 3 2 のコア近傍を示す概略図、図 1 8 (b) はコア 2 6 の中央における高さ方向に沿った屈折率の変化を示す図、図 1 8 (c) はコア 2 6 内を伝搬する光信号のモードプロファイルを表わす図である。図 1 8 (c) の縦軸はコア断面の高さ方向の中央から測った高さを表し、横軸はコア内を伝搬する光信号の強度を表しており、実線で表した曲線は当該コア 2 6 内を伝搬する光信号のモードプロファイルを示し、2 点鎖線で表した曲線は図 2 (c) に実線で示した従来例のモードプロファイルである。

30

【 0 0 5 3 】

本実施例では、上クラッド層 2 4 の屈折率が下クラッド層 2 3 の屈折率よりも高くなっているため、図 1 8 (b) に示すように、コア 2 6 の上面の等価屈折率と上クラッド層 2 4 の屈折率との差 Δn は、コア 2 6 の下面の等価屈折率と下クラッド層 2 3 の屈折率との差と同等になる。そのため、図 1 8 (c) に示すように、コア 2 6 内を伝搬する光は、コア 2 6 の上面側からの漏れが大きくなり、モードプロファイルが対称に近くなる。よって、コア 2 6 と光ファイバとの結合効率が向上する。

【 0 0 5 4 】

この実施例の場合についてのモードプロファイルのシミュレーション図は示さないが、その作用からも明らかなように、この実施例におけるシミュレーションも図 1 4 及び図 1 5 のシミュレーションと同様な傾向が示される。

40

【 0 0 5 5 】

なお、この実施例の変形例としては、下クラッド層 2 3 をコア 2 6 とほぼ同じ厚みでコア 2 6 と同じ高さに位置する層とコア 2 6 の下方に位置する層とに分け、コア 2 6 の下方に位置する層の屈折率をコア 2 6 とほぼ同じ高さに位置する層の屈折率よりも低くしてもよい（図示せず）。

【 0 0 5 6 】

図 1 9 は、コア 2 6 の下面及び両側面底部の近傍において、下クラッド層 2 3 に低屈折率層 2 7 を形成した本発明の実施例を示している。コア 2 6 の厚みを 6 μm として、コア 2 6 の下面から両側面にかけて低屈折率層 2 7 を、例えば 1 μm の厚みで設けている。こ

50

の実施例は、図3の実施例においてコア26の下面に設けられた低屈折率層27をコア26の両側面底部にまで延長した実施例に当たる。従って、図3の実施例と同様な作用により、コア26内を伝搬する光のモードプロファイルを対称にすることができる。

【0057】

図20及び図21は当該実施例において低屈折率層27の屈折率を変化させたときのモードプロファイルの変化をシミュレーションにより描いたものである。図20及び図21のシミュレーションは、図7及び図8の場合と同じ条件でシミュレーションしたものである。また、図20及び図21には、低屈折率層27の屈折率と下クラッド層23の屈折率との差が、下クラッド層23の屈折率より0.00%、0.01%、0.03%、0.04%、0.06%、0.07%低い6パターンについてモードプロファイルを描いている。

10

【0058】

ここで、図20に示した上側のモードプロファイルにおいては、例えば強度が0.300 [a.u.]となる箇所の高さを見ると、低屈折率層27の屈折率によらずコア26の中央から約4.210 μm の高さとなっている。従って、モードプロファイルが対称であれば、コア26の中央からの高さが-4.210 μm においても強度が0.300 [a.u.]となる筈である。そこで、図21のモードプロファイルを見ると、低屈折率層27の屈折率を、下クラッド層23の屈折率より0.07%低くした場合において、高さ約-4.210 μm のときに強度が0.300 [a.u.]となることが分かる。よって、低屈折率層27の屈折率が、下クラッド層23の屈折率より0.07%だけ低くなるようにすれば、ほぼ対称なモードプロファイルが得られることが分かる。

20

【0059】

なお、本発明においては、上記実施例を組み合わせることも可能である。例えば、コアの上面近傍において上クラッド層に上クラッド層とコアとの中間の屈折率の中間屈折率層を設けると共に、コアの下面近傍において下クラッド層に下クラッド層よりも屈折率の低い低屈折率層（又は、コアよりも屈折率の高い高屈折率層）を設けてもよい。

【0060】

図22は本発明の別な実施例による光導波路の断面図である。この光導波路40においては、コア26の下面近傍において、下クラッド層23に引張内部応力の高い高ストレス領域41を形成している。

30

【0061】

このような光導波路を製作するには、比較的硬化収縮の大きなコア、クラッド材料（樹脂）を用いてスタンパ法により下クラッド層23に下方で狭くなった断面台形のコア溝25を作製した後、コア材料（樹脂）をコア溝25に注入し、上から透明な平板で押さえてコア26を成形し、その状態でコア材料を硬化させる。この後、下クラッド層23の上に上クラッド層24を成形してコア26を封止する。

【0062】

このようにして光導波路を製作すると、コア26の硬化収縮の方向と下クラッド層23の硬化収縮の方向が異なるためにコア26と下クラッド層23との間に引張応力が発生し、コア26の下面近傍において下クラッド層23に高ストレス領域41が発現する。比較的高い引張応力の発生している高ストレス領域41では、引張応力のために樹脂（下クラッド層23）の密度が低下しており、そのためコア26の下面近傍の高ストレス領域41では屈折率が周囲の下クラッド層23よりも小さくなっている。例えば、10 MPaの引張応力が発生していると、0.1%程度の屈折率の変化が生じると考えられる。よって、コア26の等価屈折率と高ストレス領域41の屈折率との差がコア26の等価屈折率と下クラッド層23との差よりも大きくなって、コア26の下面側で光の閉じ込めが大きくなり、光のモードプロファイルが対称に近づく。

40

【0063】

図23はスタンパ法により光導波路を作製した場合にコアの周辺に発生する引張応力の分布をシミュレーションにより描いたものである。すなわち、下クラッド層23及びコア溝25の成形時と、コア26の成形時と、上クラッド層24の成形時とに分けて各段階で

50

の応力を求め、それらを重ね合わせたものである。このシミュレーション図では、コア 26 の上面側では引張応力が 0 MPa ~ 7 MPa となっており、コア 26 内では約 7 MPa となっており、下クラッド層 23 内の大部分の領域では 5 MPa となっており、コア 26 の下面側では 7 MPa ~ 10 MPa 以上となっている。よって、コア 26 の下面近傍の屈折率が小さくなり、光がコア 26 の下面から漏れ出しにくくなる。

【0064】

本発明の実施例においては、コアの断面形状は台形状のものにより説明したが、これに限られることはなく、例えば半円形状などコアの深さ方向もしくは高さ方向で幅が単調に増加または減少するような断面形状のコアを持つすべての光導波路に適用可能である。

【図面の簡単な説明】

10

【0065】

【図1】テーパ状のコア断面を有する光導波路の一例を示す概略斜視図である。

【図2】(a) ~ (c) は同上の光導波路の作用説明図である。

【図3】本発明の一実施例による光導波路を示す斜視図である。

【図4】図3の光導波路の変形例を示す概略断面図である。

【図5】(a) ~ (d) は図3に示した光導波路の製造工程を説明する概略図である。

【図6】(a) ~ (c) は図3に示した実施例の作用説明図である。

【図7】低屈折率層の屈折率を変化させたときの、コア上半部でのモードプロファイルの変化を示すシミュレーション図である。

【図8】低屈折率層の屈折率を変化させたときの、コア下半部でのモードプロファイルの変化を示すシミュレーション図である。

20

【図9】本発明の別な実施例を説明する図である。

【図10】(a) ~ (d) は、図9に示した光導波路の製造工程を説明する概略図である。

【図11】本発明のさらに別な実施例による光導波路を示す斜視図である。

【図12】(a) ~ (d) は、図11に示した光導波路の製造工程を説明する概略図である。

【図13】(a) ~ (c) は図11に示した実施例の作用説明図である。

【図14】中間屈折率層の屈折率を変化させたときの、コア上半部でのモードプロファイルの変化を示すシミュレーション図である。

30

【図15】中間屈折率層の屈折率を変化させたときの、コア下半部でのモードプロファイルの変化を示すシミュレーション図である。

【図16】本発明のさらに別な実施例による光導波路を示す斜視図である。

【図17】(a) ~ (c) は図16の実施例による光導波路の製造手順を説明する概略図である。

【図18】(a) ~ (c) は、図16に示した実施例の作用説明図である。

【図19】(a) は本発明の別な実施例による光導波路の要部を示す概略図、(b) はコア内を伝搬する光のモードプロファイルを示す図である。

【図20】低屈折率層の屈折率を変化させたときの、コア上半部でのモードプロファイルの変化を示すシミュレーション図である。

40

【図21】低屈折率層の屈折率を変化させたときの、コア下半部でのモードプロファイルの変化を示すシミュレーション図である。

【図22】本発明のさらに別な実施例による光導波路の断面図である。

【図23】光導波路内の応力分布を表した図である。

【符号の説明】

【0066】

21、22 ガラス基板

23 下クラッド層

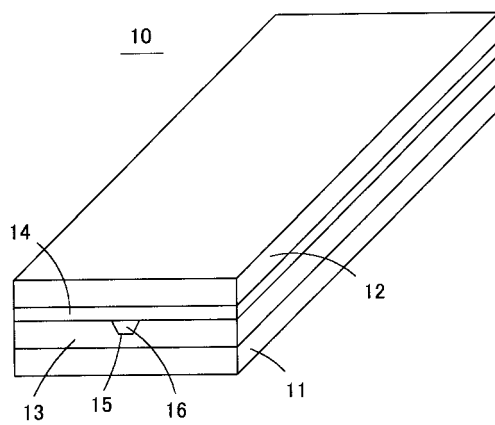
24 上クラッド層

25 コア溝

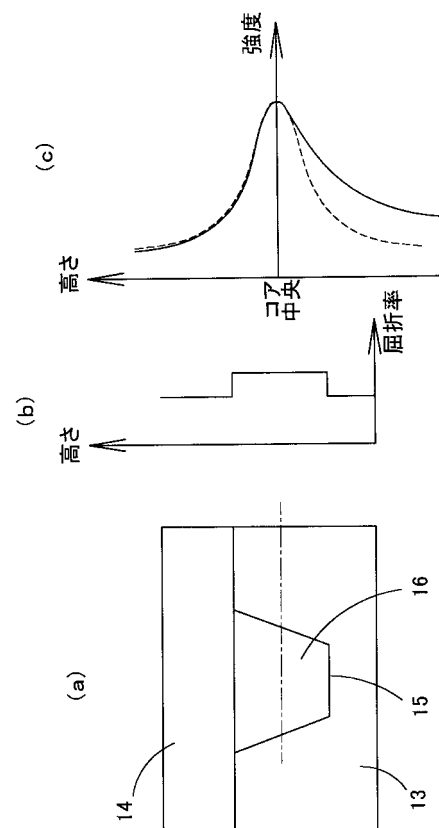
50

- 2 6 コア
- 2 7 低屈折率層
- 2 8 高屈折率層
- 2 9 中間屈折率層
- 4 1 高ストレス領域

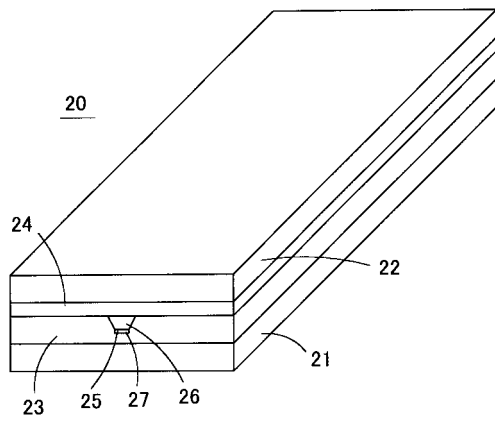
【図 1】



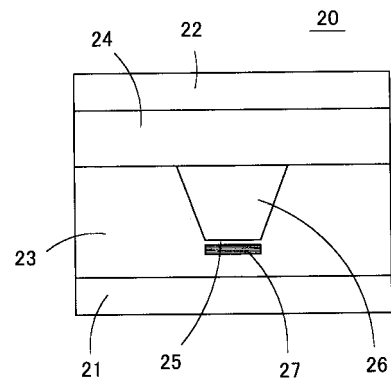
【図 2】



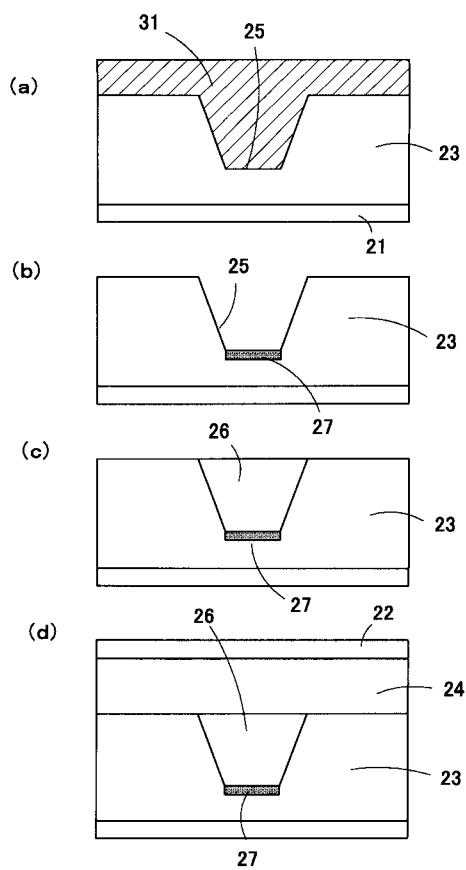
【図 3】



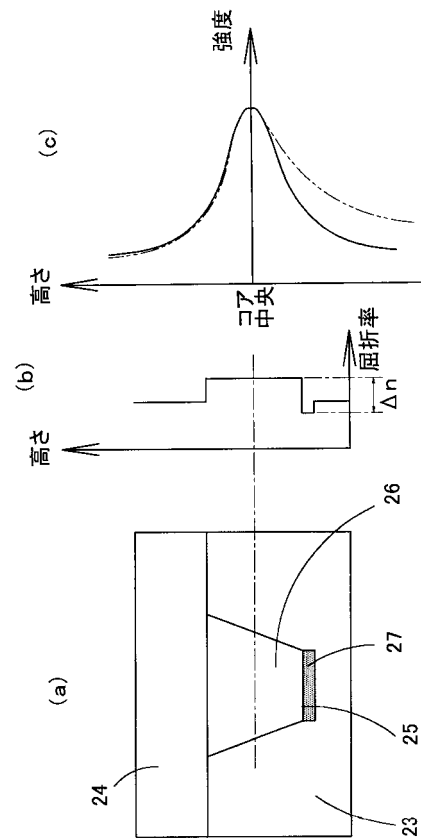
【図 4】



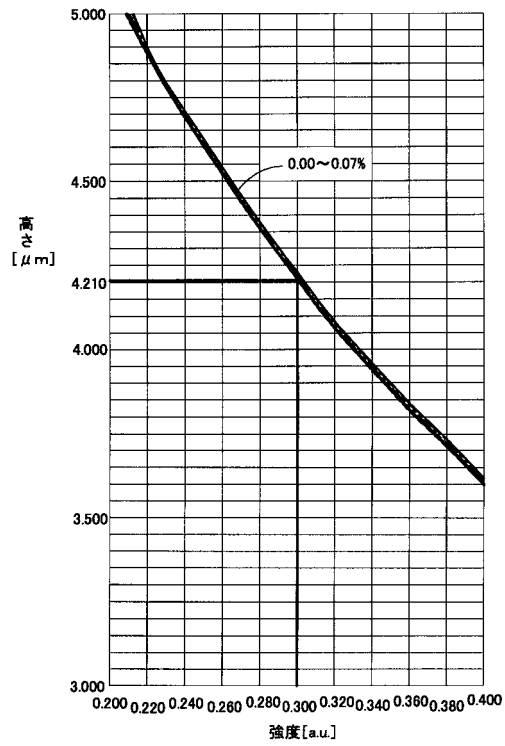
【図 5】



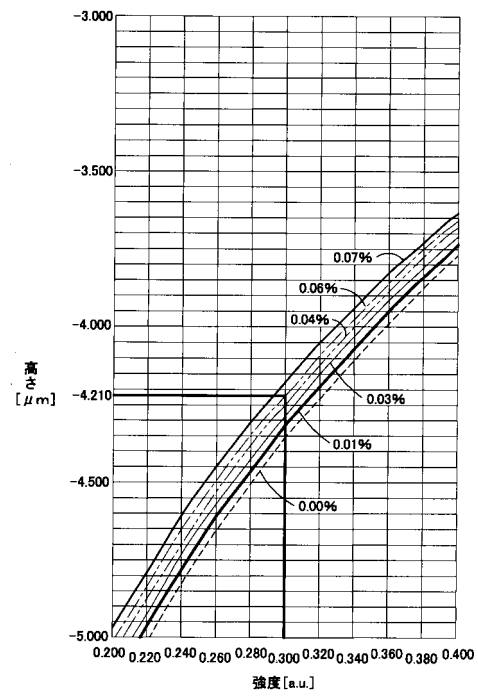
【図 6】



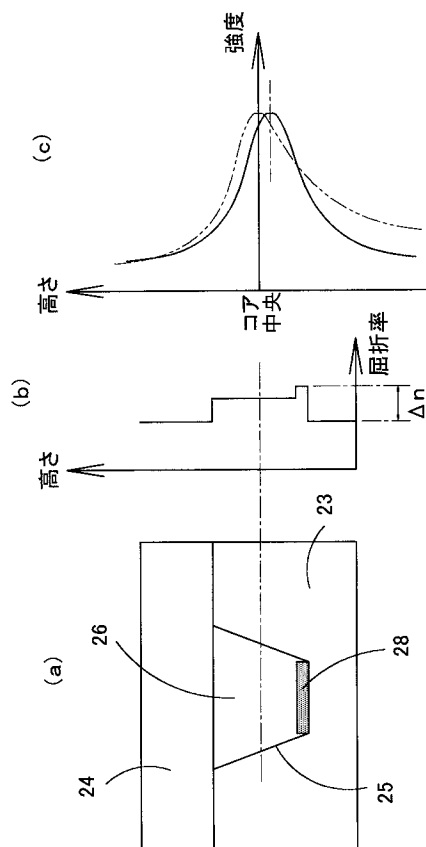
【図 7】



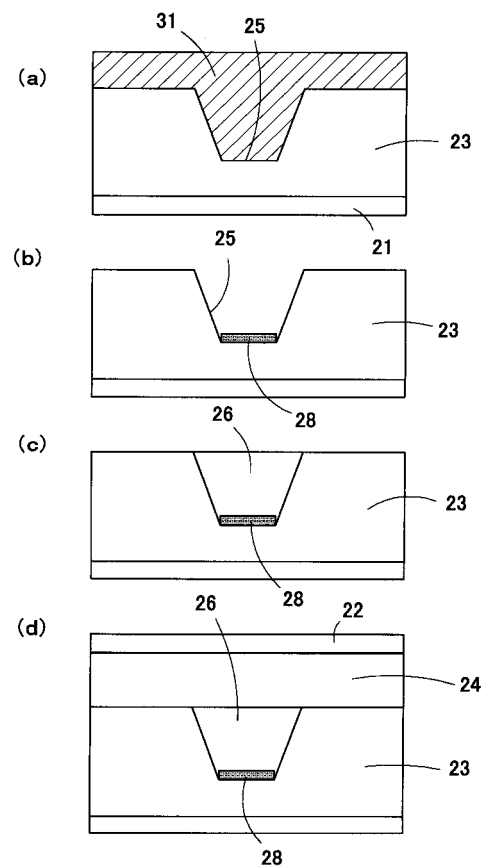
【図 8】



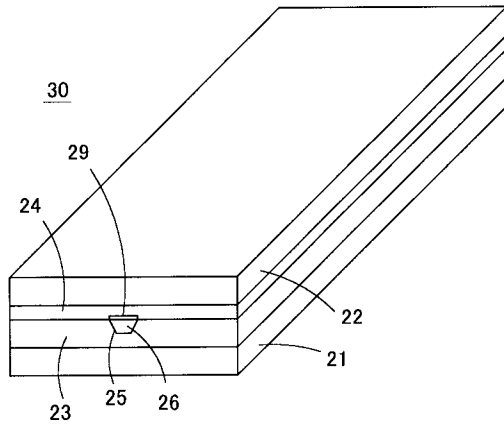
【図 9】



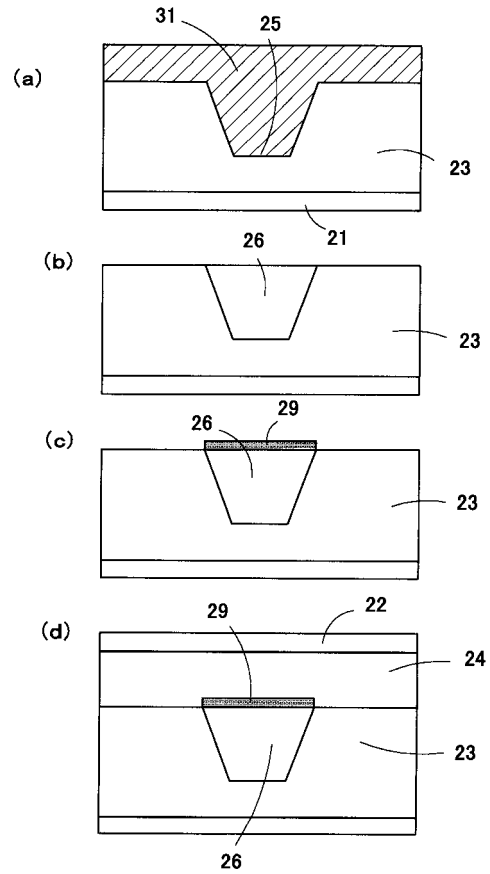
【図 10】



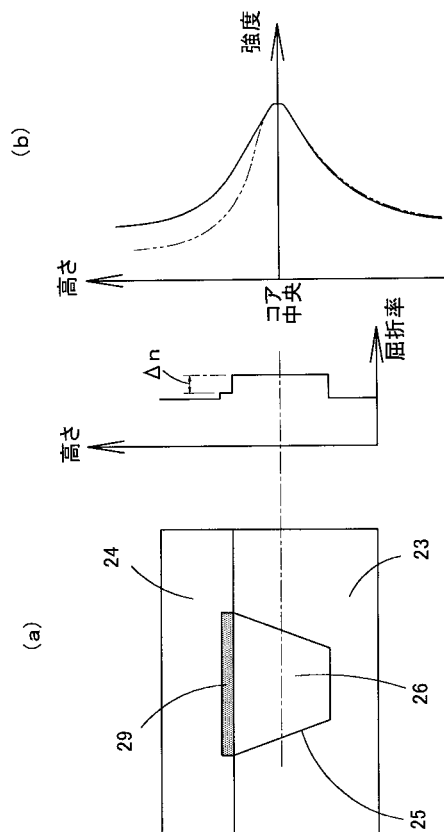
【図 1 1】



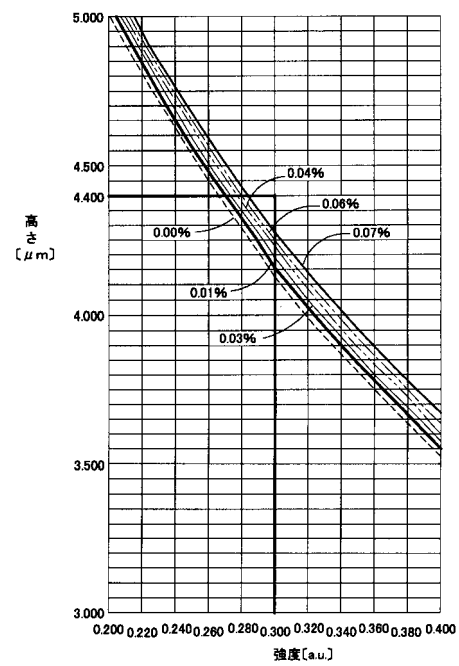
【図 1 2】



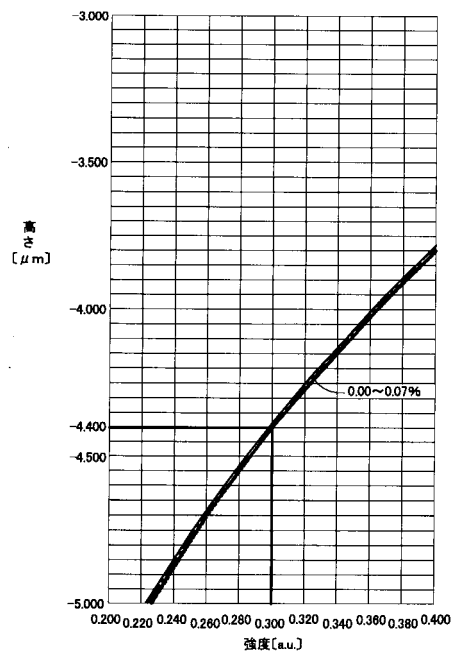
【図 1 3】



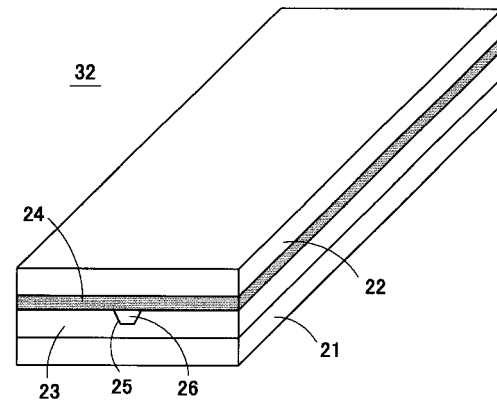
【図 1 4】



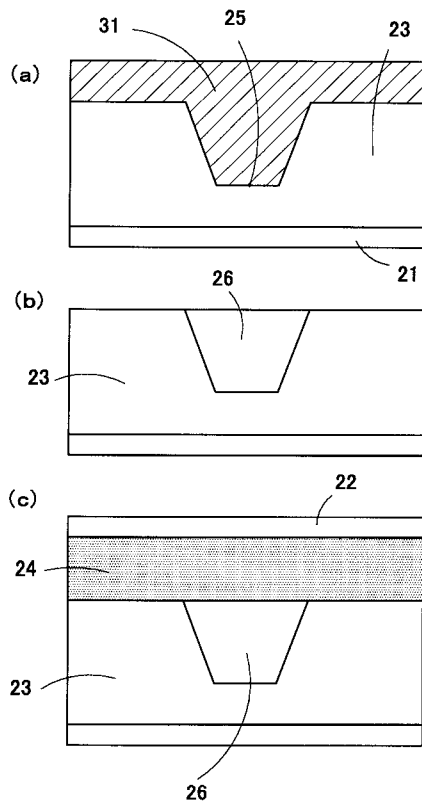
【図 15】



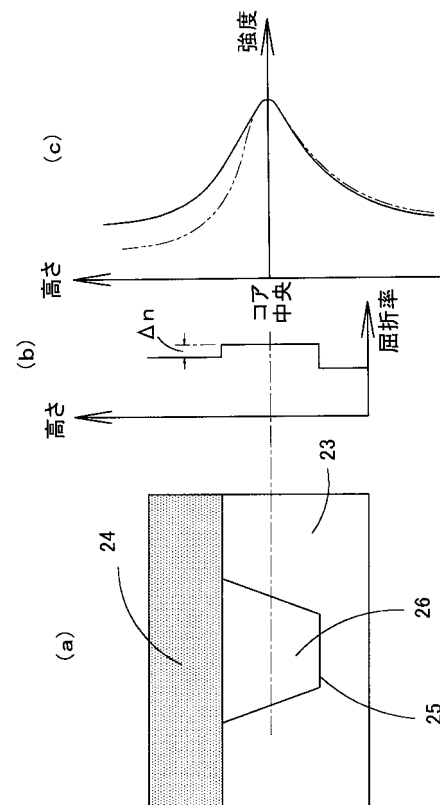
【図 16】



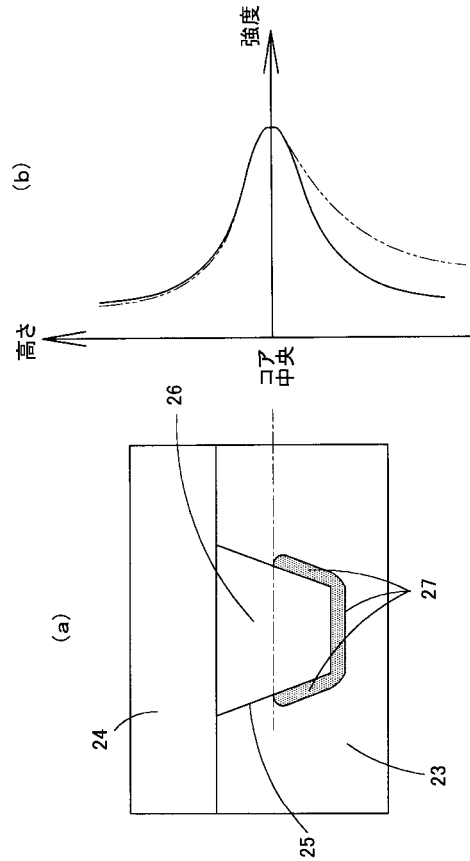
【図 17】



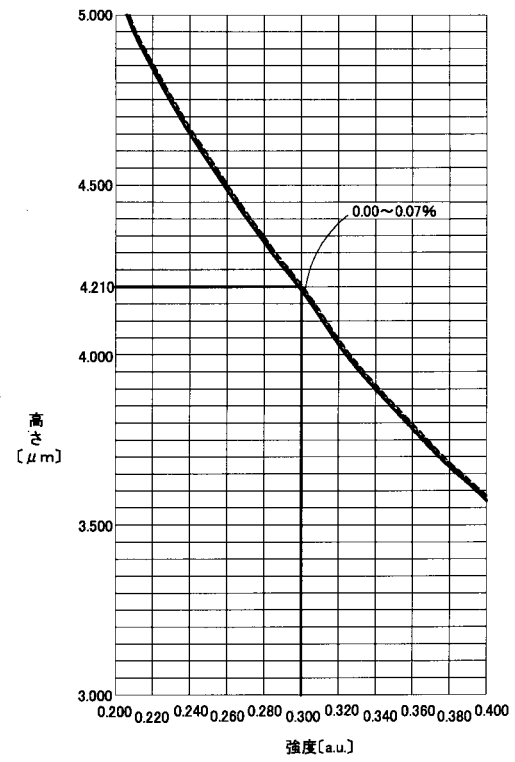
【図 18】



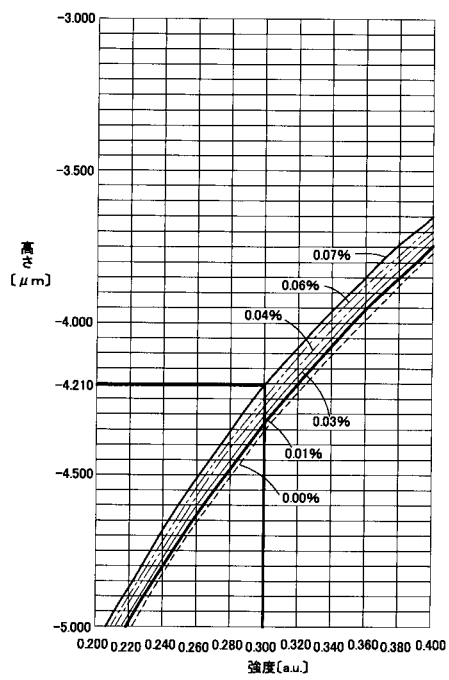
【図 19】



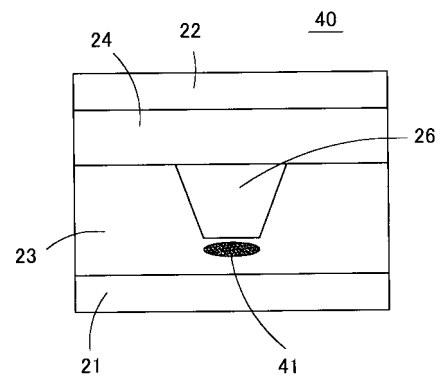
【図 20】



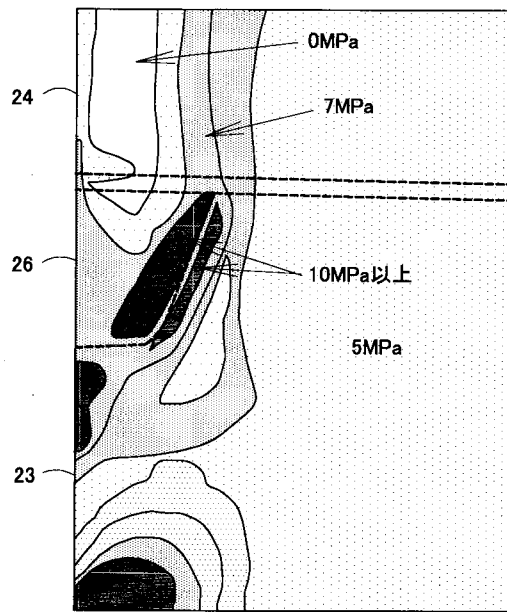
【図 21】



【図 22】



【図 23】



フロントページの続き

(72)発明者 安田 成留

京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内

(72)発明者 細川 速美

京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内

審査官 ▲高▼ 芳徳

(56)参考文献 米国特許出願公開第2003/0012493(US, A1)

米国特許第05703989(US, A)

特開2003-344682(JP, A)

特開2000-056147(JP, A)

特開2003-240991(JP, A)

特表2004-534262(JP, A)

米国特許第5018811(US, A)

特開平6-235833(JP, A)

特開2002-131564(JP, A)

特開2001-56414(JP, A)

特開平01-147410(JP, A)

特開2003-121670(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/12 - 6/43

G02F 1/00 - 7/00

JSTPlus(JDreamII)

JST7580(JDreamII)