(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2003 年2 月20 日 (20.02.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/014788 A1

(51) 国際特許分類[7]: G02B 6/30, 6/122

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/07908

(22) 国際出願日: 2002 年8 月2 日 (02.08.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2001-235124 2001 年8 月2 日 (02.08.2001) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都 港区 芝五丁目７番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 鈴木 耕一 (SUZUKI,Kouichi) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都 港区 芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 花田 忠彦 (HANADA,Tadahiko) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都 港区 芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 賣野 豊 (URINO,Yutaka) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都 港区 芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 池田 憲保， 外 (IKEDA,Noriyasu et al.); 〒105-0003 東京都 港区 西新橋一丁目４番１０号 第３森ビル Tokyo (JP).

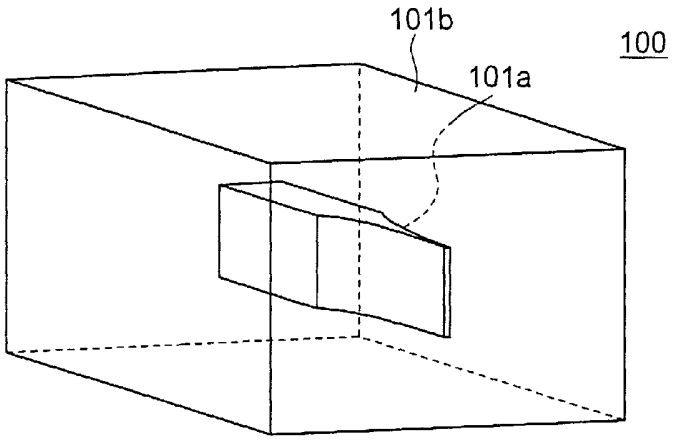
(81) 指定国 (国内): CA, CN, US.

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: OPTICAL COUPLER

(54) 発明の名称: 光結合器



(57) Abstract: An optical coupler, comprising a tapered guided wave path formed so that a guided wave path width is reduced from a specified start position toward an optical signal emitting end, wherein a difference between a first coupling rate and a second coupling rate comes within a predetermined range, the first coupling rate is the rate of coupling with the guided path with the same width as that at a first position in a natural mode when the tapered guided wave path is cut at the first position, and the second coupling rate is the rate of coupling with the guided path with the same width as that at a second position in a natural mode when the tapered guided wave path is cut at the second position apart a specified distance from the first position in the direction of the optical signal emitting end.

[続葉有]

WO 03/014788 A1

(57) 要約:

所定の開始位置から光信号の放出端にいくほど導波路幅が狭くなるように形成されたテーパー導波路を備えている。第１の結合率と、第２の結合率との差が、予め定められた範囲内となるようにされている。第１の結合率は、テーパー導波路を第１の箇所で切断した場合の第１の箇所と同じ幅の導波路との固有モードにおける結合率である。第２の結合率は、テーパー導波路を第１の箇所から放出端方向に所定距離離れた第２の箇所で切断した場合の第２の箇所と同じ幅の導波路との固有モードにおける結合率である。

明細書

光結合器

技術分野

本発明は、光通信に用いられる光ファイバーと光集積回路とを接続する光結合器に関する。

背景技術

近年の通信需要の拡大に伴い、大容量かつ長距離伝送に適したＤＷＤＭ（Dense Wavelength Division Multiplex）を用いた光通信システムが広く使われるようになっている。ＤＷＤＭシステムのキーコンポーネントとして、第１６図（平面図）に示すＡＷＧ（Arrayed Waveguide Grating）素子のような、導波路型光機能素子の需要が増している。このような導波路素子の低コスト化や高機能化を図るためには、素子サイズの小型化が重要である。素子サイズの小型化には、導波路のコア（屈折率n_1）とクラッド（屈折率n_2）の屈折率差Δｎを大きくすることが有効である。屈折率差Δｎを大きくすると、導波路への光の閉じ込めを強くできるため、曲がり導波路の最小曲げ半径など各導波路要素を小さくでき、素子サイズを小さくできる。

しかしながら、$\Delta n = (n_1^2 - n_2^2) \div (n_1^2 + n_2^2)$を大きくすると、光導波路内の光波のスポット径が縮小し、光ファイバーのスポット径より小さくなり、接続部での光波スポットサイズの不整合から大きな結合損が発生してしまう。例えばＰＬＣ（Plannar Lightwave Circuit）型の導波路デバイスにおいて、直接突き合わせ接続（バットジョイント）法で接続させたときの接続損は、Δｎ＝１．５％で片端２．０ｄＢ近くにもなり、両端で４．０ｄＢになってしまう。これは、導波路デバイスの一般的な許容損失値を上回る損失である。

この損失を低減するため、半導体レーザと同様に導波路デバイスの光波のスポットサイズを拡大することで、光ファイバーのスポットサイズとの整合性をとるスポットサイズ変換型光結合器の開発が、進められている。これまでは、第１７図に示すような２次元的なテーパー導波路構造を用いて導波路先端部分を広げることで先端部分での光波フィールドを拡大し、光ファイバーのスポットサイズまで拡大する手法がとられてきた。また、３次元的にコアの形状を変化させるスポットサイズ変換器も各種製作されているが、この技術ではプロセスが複雑化してしまう問題がある。

第１７図に示すテーパー導波路構造は、従来から最も広く使われており、導波路１４０１の幅をラッパ状に広げることによって、２次元的に導波路１４０１のスポットサイズを拡大するものである。このような手法を用いる場合、水平方向のスポットサイズを、波面の曲がりや全体の外観が変化することなどなく、断熱的に拡大させることができるが、基板に対して垂直方向のスポットサイズは拡大しない。このため、結合ロスのうち半分は（１．６ｄＢの結合ロスを０．８ｄＢに）改善することができるが、これ以上の改善は望めない。上記手法は、もともとの結合損が小さい場合には効果的な手法であるが、結合損が大きい場合には所望の効果が得られない。

このため、垂直方向のスポットサイズの拡大を図る新たな方法が、複数提案されている。一つは、導波路幅を細くしていくことで導波路による束縛を弱めてスポットサイズを拡大していく手法である。また、３次元的に垂直方向の導波路構造を広げたりすぼめたりして３次元的にスポットサイズの拡大を図る手法がある。

例えば、文献１（特許２９２９４８１号公報）には、導波路先端での規格化伝搬定数Ｖを、光ファイバーと結合率が最適になるように設計した先細り型光結合器について示されている。

文献１の技術では、先端部の規格化伝搬定数ｂ「＝（$n_{eff}^2 - n_2^2$）÷（$n_1^2 + n_2^2$）」を、光ファイバーとの結合効率が低損失になるような０．１以下から０．０１以上の導波路構造をパラメーターに設定しておき、

通常導波路部分から先端部分へとテーパー導波路で変換するものとしている。

ここで、n_{eff}は導波路の伝搬定数であり、導波路中を伝搬する光の実効的な進行方向への波数を表す。一方、規格化伝搬定数ｂとは、伝搬定数n_{eff}をコアおよびクラッドの屈折率n_1、n_2を用いて規格化した値であり、材料や構造が異なる導波路間で伝搬定数を比較する際に用いられるパラメーターである。

規格化伝搬定数ｂが１に近いということは、導波路の進行方向波数が、導波路のコアの進行方向端数とほぼ同じであることを意味しており、この場合、光エネルギーのほとんどはコアに閉じ込められている。一方、規格化伝搬定数ｂが０に近いということは、光波のスポットがコアより広がってしまい、ほとんどの光エネルギーがクラッド中に存在していると言うことである。規格化伝搬定数ｂは、導波路を導波する光波のうちどれくらいの割合がコアを感じているかを意味するパラメーターでもあり、例えば、「ｂ＝０．０７」は、導波光波のうちの７％が導波路コア中を伝搬しているものととらえることができる。

しかし、文献１に示されているように構成しても、目標の導波路幅まで細めていく間に放射ロスが発生してしまい、安定した光波の変換が行われない。文献１の技術を用いて目標の導波路幅まで細めていく場合に、光波が放射モードに結合してしまい放射ロスが発生する。文献１の技術では、局在的に結合損失が小さくなる場所が存在するが、上記放射ロスのために、低損失な部分のトレランスを確保することができない。

第１８図は、３次元ビーム伝播法を用いて解析した、直線テーパー型の先細り光結合器での結合効率の推移である。テーパー導波路を進行方向の途中で切断し、切断した先に光ファイバーを結合させたときの結合損を現している。横軸が進行方向距離で、縦軸が結合損になる。本構造は、ＰＬＣデバイスを想定したものであり、導波路構造は４．０μｍ×４．０μｍで、クラッド屈折率n_2＝１．４５７５６８、Δｎ＝１．３％であり、テ

ーパー長１２００μｍのストレートテーパー構造で、導波路を０．４μｍ×４．０μｍまで縮小している。スポットサイズ変換器を用いずに直線導波路に結合させれば、１．６ｄＢの損失が発生する。

第１８図に示すように、このような光結合器の場合、伝搬する光信号が導波路の進行方向に向かうにつれ、結合損が最大０．４ｄＢと改善する（１４００μｍ付近）。しかしながら、伝搬していく光波（光信号）は、放射モードに変換されているので、スポットサイズが拡大しすぎて結合損が大幅に増加する。この条件のときは、結合損が０．５ｄＢ以下の領域は２５０μｍ程度しか存在しない。ここに示したような放射モードは、すでに導波路の束縛から離れてしまい、このまま拡大していくだけであるから、結合効率が良好な領域を１ｍｍ以上とすることは難しい。

以上説明したような問題を改善するために、光導波路に設けるテーパーの変化を多項式などの曲線形状を用いて安定的な光波変換を行う構造とした、スポットサイズ変換器が提案されている。しかしながら、このような構造を用いたとしても、第１８図に示すように結合率が最適な導波路構造に到達する前に放射モードが発生してしまい、結合率とトレランスの大幅な低下をもたらす。

また、第１９図に示すように、テーパー領域１６０１の結合率が良好化したところに、直線導波路１６０２を結合させても、光ファイバーとの結合トレランスは改善しない。これは、直線導波路に到達する前に光波のほとんどが放射モードに変換されてしまうことが原因である。一度放射モードに結合した光波は、波面が湾曲していくために、ただ直線導波路を配置しただけでは結合されないことがわかる。

以上説明したように、従来の光結合器では、局所的に大きな結合効率の向上を得ることができるが、切断位置のトレランスが厳しくなり、切断位置がずれると深刻な結合損の悪化を招く。前述したように、従来の光結合器のピーク結合効率は０．５ｄＢ弱だが、トレランスは数百μｍ以下であり、チップ切断工程での切断精度によって結合損が確定してしまう。この

ため、従来の光結合器では、光導波路デバイスの歩留まりが、光結合器の切断位置の精度によって決定されてしまう。

また、導波路構造を３次元的にした光結合器は、安定的な結合が得られる可能性はあるが、３次元的な構造を形成するための製造プロセスが極めて複雑化してしまうという問題がある。

発明の開示

本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、製造コストを増大させることなく、光ファイバーとの結合損を低減できるようにすることを目的とする。

本発明の一形態における光結合器は、所定の開始位置から光信号の放出端にいくほど導波路幅が狭くなるように形成されたテーパー導波路を備え、テーパー導波路を第１の箇所で切断した場合の第１の箇所と同じ幅の導波路との固有モードにおける第１の結合率と、テーパー導波路を第１の箇所から放出端方向に所定距離離れた第２の箇所で切断した場合の第２の箇所と同じ幅の導波路との固有モードにおける第２の結合率との差が、予め定められた範囲内となるようにされているものである。

この光結合器によれば、テーパー導波路を伝搬する光信号は、放出端にいくほどスポットサイズが広がる。

上記光結合器において、第１の結合率と第２の結合率との差は、例えば、放出端の先でこの放出端より放射された光信号が結合される対象との間の所望とする結合損を１より減じた第１の値を、第１の箇所と第２の箇所との距離でテーパー導波路を分割した分割数だけ乗じ、この結果得られた第２の値を１から減じた第３の値よりも小さいものであるようにすればよい。

本発明の他の形態における光結合器は、所定の開始位置から光信号の放出端にいくほど導波路幅が狭くなるように形成されたテーパー導波路を備え、このテーパー導波路の幅の変化は、光信号の進行方向に指数関数形

状に変化するものである。

この光結合器によれば、テーパー導波路を伝搬する光信号は、放出端にいくほどスポットサイズが広がる。

上記光結合器において、指数関数は、導波路幅をW、テーパー導波路の開始点からの距離をz、テーパー導波路の初期導波路幅をW_i、放出端の幅をW_o、テーパー導波路のスタート時の初期導波路幅減少値から算出される定数をα_1としたときに、$W(z)=(W_i-W_o)\exp(-\alpha_1 z)+W_o$で示されるものとすればよい。

上述した光結合器において、導波路は、例えば石英などのシリコン系ガラス材料や、半導体から、もしくは高分子材料から構成することができる。

本発明のその他の構成は、本明細書を読み進めるにつれて明らかになるであろう。

図面の簡単な説明

第１図は、本発明の実施例における光結合器の概略的な構成を示す平面図であり、

第２図は、本発明の実施例における光結合器の概略的な構成を示す部分的な平面図であり、

第３図は、本発明の実施例における光結合器の概略的な構成を示す側面図であり、

第４図は、本発明の実施例における光結合器の概略的な構成を示す斜視図であり、

第５図は、２ＤＢＰＭの解析結果を示す説明図であり、

第６図は、実施例の光結合器におけるテーパーの進行方向長さと光ファイバーとの結合ロスを示す特性図であり、

第７図は、指数関数型の光結合器内での光波の挙動を示す特性図であり、

第８図は、屈折率差Δを１．３％とした光結合器におけるテーパーの進行方向長さと光ファイバーとの結合ロスを示す特性図であり、

第９図は、光結合器のW$_0$を臨界導波路幅より細く設定した場合の結合特性を示す特性図であり、

第１０図は、屈折率差Δを１．２％とした光結合器におけるテーパーの進行方向長さと光ファイバーとの結合ロスを示す特性図であり、

第１１図は、屈折率差Δを１．４％とした光結合器におけるテーパーの進行方向長さと光ファイバーとの結合ロスを示す特性図であり、

第１２図は、切断位置と結合損を示す特性図であり、

第１３図は、光結合器の製造過程を示す工程図であり、

第１４図は、光結合器の製造過程を示す工程図であり、

第１５図は、光結合器の製造過程を示す工程図であり、

第１６図は、導波路型光機能素子であるＡＷＧ（Arrayed Waveguide Grating）素子の構成を示す説明図であり、

第１７図は、従来のテーパー型光結合器の一部構成を示す構成図であり、

第１８図は、３次元ビーム伝播法を用いて解析した直線テーパー型の先細り光結合器での結合効率の推移を示す説明図であり、そして、

第１９図は、従来のテーパー型光結合器の一部構成を示す構成図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施例について図を参照して説明する。

第１図は本発明の実施例における光結合器の概略的な構成を示す平面図、第２図は部分平面図、第３図は側面図、第４図は斜視図である。第１図に示すように、本実施例の光結合器１０１は、図示しない小型光導波路型機能デバイスと、単一モード光ファイバー１０２との間に配置して用いる。

第２図に示しように、本実施例の光結合器１０１は、周囲をクラッド１０１ｂで覆われたコア１０１ａの幅を、所定の箇所より徐々に狭くした形状とすることで、スポットサイズの変換を行うようにした。一方、第３図に示すように、コア１０１ａの基板に対して垂直な方向の高さは、変化さ

せずに一定のものとした。

このため、一般的によく知られているフォトリソグラフィ技術を利用し、第２図に示す形状のマスクパターンを用いて所望とする光学材料をエッチング加工することで、本実施例の光結合器を形成することができる。

第２図に示すように、コア１０１ａの幅を、光出射端２０１に近くなるにつれて細くなるようにしたテーパー導波路を備えるようにしたので、光導波路１０１を伝播する光信号のスポットサイズは、横方向だけではなく３次元的に拡大する。このため、本実施例の光導波路１０１によれば、光ファイバーとの結合率が低減できる。しかしながら、ＰＬＣ型光機能デバイスのようにΔｎが３％以下と半導体型光機能素子よりも小さいデバイスに対応させる場合、コア１０１ａの幅を最適な導波路幅まで細めていく間に、放射モードに結合する光波モードが大きくなる。

放射モードは、導波路１０１の束縛から逃れて周囲に広がっていくため、スポットサイズが見かけ上は拡大していくが、最適なスポットサイズになった後も拡大を続ける。このため、放射モードは、更に進行方向に進むとスポットサイズが広がりすぎてしまい、光ファイバーのスポットサイズより大きくなってしまうので、再び結合効率が悪化してしまう。

このような現象が発生するのは、規格化伝搬定数ｂが小さくなると広がった光波モードが導波路コアを感じる割合が小さくなるため、導波路幅が変化すると導波モードに変換される成分よりも放射モードに変換される成分が大きくなることが原因である。

規格化伝搬定数ｂ（$b=(n_{eff}^2-n_2^2)\div(n_1^2+n_2^2)$）は、導波路を伝搬する光モードのうち、どの程度の割合がコアの中に存在するかを表すパラメーターであり、ｂ＝０．１であれば、光波のうち１０％程度が導波路のコアを感じている（コアの中に存在する）ことになる。

ひとたび導波路の束縛を離れ放射モードに結合されてしまった光波モードの光信号は、進行するにしたがって波面が湾曲してしまうため、一度放射モードに結合された光信号は、伝搬する導波路構造を変化させても、

再び導波路モードに結合しなおすのは至難である。

ここで、導波路からの放射モードの比率が、ある一定の値にコントロールできるように、ＢＰＭ（Beam Propagation Method）を用いてつぎに示すようなプログラムを製作し、導波路の形状をシミュレーションした。ＢＰＭは、上述したような導波路の進行方向での光パワーの変化を扱う、一般的なシミュレーション手法である。

```
Ｆｏｒ
導波路幅を減らす
    ＢＰＭで１ステップ進む
    現在のテーパー導波路断面導波路と同じ幅の導波路の固有モードとの結合率を求める。
    Ｉｆ　前回の結合率と今の結合率の差がεより大きければ
        導波路幅とＢＰＭステップを元に戻す
        ＢＰＭで１ステップ進む
ｅｎｄ
ｅｎｄ
```

上述のプログラムでは、導波路断面の固有モードとテーパー導波路で進行してきた変換モードとの結合率を求めているが、この結合率の低下分が放射モードに結合している光波の割合である。導波路幅の変化に対してある一定の結合率しか変化しないような構造を探索すれば、放射モードへの結合を抑制することができる。

言い換えると、次に示すようになる。まず、テーパー導波路の所定の箇所を第１の箇所とし、この第１の箇所からテーパー導波路の光信号が放射する方向に所定距離離れた箇所、すなわち第１の箇所から上述の１ステップ進んだところを第２の箇所とする。このとき、テーパー導波路を第１の箇所で切断した場合の第１の箇所と同じ幅の導波路との固有モードにおける第１の結合率と、テーパー導波路を第２の箇所で切断した場合の第２の箇所と同じ幅の導波路との固有モードにおける第２の結合率との差が、

予め定められた範囲内、すなわち上記εよりも小さい値となるように、上記テーパー導波路が構成されていればよい。

このような手法で設計した光結合器の構造は、つぎのような式で近似することができる。

$W(z) = (W_i - W_0) \exp(-\alpha_1 z) + W_0$

この式において、Wは導波路幅、zはテーパー形状の開始点からの距離である。また、W_iはテーパー導波路の初期導波路幅である。また、W_0は、ここでは臨界導波路幅としているものであり、導波路幅がW_0より小さくなると放射モードへの結合比率がある一定の値以上に増大してしまうことを示す。また、α_1は、導波路のスタート時の初期導波路幅減少値から算出される定数である。

上述の計算手法によって、屈折率差Δが変化しても、臨界導波路幅は規格化周波数Vパラメーターが０．４近辺になることが明らかになっており、各屈折率差ΔでのW₀と、このW₀でのVパラメーターを以下の第１表に示す。

第１表

	W_0	V
Δ１．０%	０．５０５	０．４０
Δ１．３%	０．４４６	０．４１
Δ２．０%	０．３２８	０．４１

この設計手法を用い、以下の式に示すように、先すぼみテーパー導波路を２Ｄ－ＢＰＭで解析した。なお、屈折率差は、Δ１．３%で、スタート時の導波路幅は、２．０μｍである。

$W(z) = 1.55 \exp(-0.00654 z) + 0.45$

このときの２ＤＢＰＭの解析結果を、第５図、第６図に示す。なお、第５図は、光の強度プロファイルの変化を示す説明図であり、第６図は、テーパーの進行方向長さと光ファイバーとの結合ロスを示している。第５図に示すように、最初に放射があるが、この後、ビーム上に光エネルギーが

断熱変換されていることがわかる。また、第６図に示すように、光ファイバーとの結合損からも波面湾曲のコントロールができていることもわかる。

このような指数関数型の光結合器内での光波の挙動については、第７図のように導波路の進行方向に向けて３段階に分けて考えることが可能であり、便宜上、第１段階を断熱的変換領域、第２段階を放射モード領域、第３段階をモード安定領域とする。

第１段階の断熱的変換領域について説明すると、これは、導波路中の光波のスポットサイズの拡大と放射モードへの変換が進行していく過程であり、導波路幅の減少に伴ってスポットサイズが拡大していく。

次に、第２の放射モード領域について説明すると、これは、放射モードの光波が回折放射される過程であるので、最も結合損が改善する領域である。放射モード領域での結合損の改善は、放射モードに結合した光波のスポットサイズが拡大することによって得られる。しかし、ひとたび放射モードに結合してしまった光波のスポットサイズは、導波路の束縛を離れてしまっている。このため、導波路の進行方向に進むにつれスポットサイズは拡大しつづけ、光ファイバーとの整合が大きさを超えて拡大してしまうことから、結合損の増大を示してしまう。

次に、第３のモード安定領域について説明すると、ここでは導波路幅がほぼW_0になっており、放射モードに結合した光波は放射してしまい、導波モードに結合した光波だけになっている。モード安定領域では、結合損は安定になる。第７図に示すように、W_0の変化に伴いモード安定領域での結合損が変化する。W_0が小さいとスポットサイズが充分に広がらないため、光ファイバーとの結合損は大きくなり、逆にW_0を大きくしすぎると放射モードへの結合が増大してしまうことから再び結合損が大きくなる。これらのことから、W_0には導波路パラメーターから決定される最適値があることがわかる。

臨界導波路幅W_0は、規格化伝搬定数ｂから定義することができ、前述

したプログラムのステップ結合損差εをどの程度の値にするかで決定する。例えばプログラム上で、z方向に1ステップで0．01μmずつ前進するようにし、また、2000μm先の導波路先端（放出端）での結合損失を1%とする。この場合、ステップ結合損差εは、トータルで2000000ステップ先でのロスが1%になるようなステップ結合損差εと考えて、$\varepsilon = 1-(1-0.01)^{1/200000}$で決定すればよく、ε＝5．025E－08となる。ここで、導出された臨界導波路幅W_0に対応するVパラメーターであるところのV＝0．4は、規格化周波数bパラメーターに変換するとb＝0．1程度である。

一般に、bパラメーターを減らすことで光ファイバーとの結合率が改善する。従来の導波路を細めるタイプの光結合器においては、導波路先端でのbパラメーターを0．01～0．2の間に設定する。しかし臨界導波路幅のbパラメーターが0．1程度であるため、屈折率差をより高くしたハイΔ導波路では、放射モード結合が増大してしまい、切断位置のトレランスを確保することができなくなる。従って導波路先端部の導波路幅を臨界導波路幅より小さくならないように調整することで、光ファイバーとの結合損失を低減することができる。

臨界導波路幅W_0を決定するために必要なbパラメーターは、導波路先端部まででの放射ロスから上述の手法によりεを求め、上記プログラムを実行することで決定することができる。

このような設計手法を用いて、Δ1．3%での光ファイバーとの結合特性を3次元フルベクトルBPMで見積もると、第8図に示すようになり、ある程度のテーパー長より先では、安定的な結合が得られていることがわかる。この導波路構造では、導波路の幅を初期値の4．0μmから1．3μmへと2500μmで指数関数テーパーで細めている。導波路幅が1．5μm以下になるところで結合損が最も少なくなり、この後しばらく結合損が変動してから、テーパー長1．0mm程度のところから、結合損は0．4dB程度に安定し、この後に伝搬していることがわかる。

第９図は、W_0を臨界導波路幅より細く設定した場合の結合特性である。直線テーパー構造と同様に、放射モードが発生して安定的な結合が得られないことがわかる。従来提案されていた方法では、テーパー先端部分での規格化周波数を結合させるデバイスに対して最適化していたために、先端導波路の規格化伝搬定数ｂが最適な規格化伝搬定数ｂより小さくなる条件であると、放射モードに結合する光波が大きくなり、結果的に結合損が増大して結合の安定性が得られない。

次に、以下の式により、光結合器を製造するときに発生する屈折率差Δの変動に対するトレランスを検討する。下に示す条件で屈折率差Δが１．２％、１．４％で解析した。

Ｗ（ｚ）＝２．９ｅｘｐ（－０．００３４４８ｚ）＋１．１

屈折率差Δ１．２％の結果を第１０図に示し、屈折率差Δ１．４％の結果を第１１図に示す。結合ロスは、どちらも０．５ｄＢ未満であり、トレランス幅０．１ｄＢを維持できている。このことから、本実施例における光結合器によって、結合損の製造トレランスが大きく得られることは明らかである。

次に、本発明の他の形態について説明する。

本発明の他の形態としてＡＰ－ＣＶＤ（常圧化学気相成長法）を用いてΔ１．４％の導波路構造を製作した。導波路構造は４．０μｍ×４．０μｍである。ＳＳＣ構造として「Ｗ（ｚ）＝２．９ｅｘｐ（－０．００３４４８ｚ）＋１．１」を用いている。

このＳＳＣの構造は、第８図に結果を示したものと同じである。第８図の結果と同様に、切断位置と結合損を示すグラフが第１２図である。第１２図では、ＴＭモードの状態とＴＥモードの状態とを示している。この測定結果は、片端だけがＳＳＣの構造のものであるが、接続損２．０ｄＢが０．５ｄＢにまで改善していることがわかる。

次に、光結合器の製造方法について説明する。

まず、第１３図（ａ）に示すように、ＰＳＧ（燐ドーピングシリカガラ

ス）を、ＡＰ－ＣＶＤ（常圧化学気相成長法）によりＳｉ基板１３０１上に堆積し、クラッド層１３０２を形成する。次いで、第１３図（ｂ）に示すように、ＢＰＳＧ（ボロン燐ドーピングシリカガラス）を、ＡＰ－ＣＶＤ（常圧化学気相成長法）によりクラッド層１３０２上に堆積し、ガラス層１３０３を形成し、これらを８００℃度雰囲気で６時間アニールする。

次に、アニールしたガラス層１３０３上に、上述した実施例に示したように所定の形状で徐々に細くなるパターン１３０４を、フォトリソグラフィ技術により形成する（第１３図（ｃ））。この後、形成したパターン１３０４をマスクとし、ガラス層１３０３をCF_4ガスを用いたＲＩＥ（リアクティブイオンエッチング）により加工し、第１３図（ｄ）に示すように、徐々に細くなるコア１３０３ａを形成する。この後、コア１３０３ａ上のパターン１３０４を、例えば酸素ガスを用いたアッシングにより除去する。

最後に、ＡＰ－ＣＶＤ法によりＢＰＳＧを堆積し、これらを８００℃度雰囲気で６時間アニールし、第１３図（ｅ）に示すように、コア１３０３ａを覆う上部クラッド層１３０５を形成する。

以上のことにより、ガラスによる導波路構造の光結合器が完成する。なお、ここでは石英ガラスを例にあげたが、他のガラス材料を用いたガラス導波路構造でも同様に実現できる。また、ここでは埋め込み型導波路について示したが、リッジ構造導波路でも同様に製造できる。

またＳｉ基板の換わりに石英基板など他の基板を用いることも可能である。また、各材料からなる層の形成は、ＣＶＤ法に限るものではなく、$SiCl_4$と$TiCl_4$との混合ガスの酸化反応による火炎中で生成するガラス微粒子を基板に堆積する火炎堆積法のような別の堆積手法を用いても良い。

次に、化合物半導体を材料とした光結合器の製造方法について説明する。

まず、第１４図（ａ）に示すように、ＩｎＰ基板１４０１上に、例えば有機金属気相成長法（ＭＯＣＶＤ）により、ＩｎＰクラッド層１４０２を結晶成長する。次いで、第１４図（ｂ）に示すように、導波光に対して透

明なコアとなる半導体層１４０３を形成する。半導体層１４０３は、膜厚５０ｎｍのアンドープＩｎＰの層と、膜厚１５０ｎｍの波長組成１．３μｍの無歪ＩｎＧａＡｓＰの層と、膜厚５０ｎｍのアンドープＩｎＰ層から構成する。

次いで、形成した半導体層１４０３を、公知のフォトリソグラフィ技術と誘導結合プラズマ（ＩＣＰ）によるドライエッチング技術とにより加工し、第１４図（ｃ）に示すように、ＩｎＰクラッド層１４０２上にコア層１４０３ａを形成する。ここでは、コア層１４０３ａを、指数関数的に徐々に細くなるテーパー形状に形成した。

この後、選択成長を行い、ドーピング濃度７．０×10^{17}（１／ｃｍ^3）のｐ－ＩｎＰ層１４０４を厚さ０．６μｍに結晶成長し、更に、ドーピング濃度７．０×10^{17}（１／ｃｍ^3）のｎ－ＩｎＰクラッド１４０５を、膜厚３μｍ程度に結晶成長する。最後に、ドーピング濃度１．０×10^{19}（１／ｃｍ^3）のｐ－ＩｎＧａＡｓコンタクト層１４０６を膜厚１００ｎｍに形成する。このようにクラッドを厚く形成することで、スポットサイズ変換に伴うスポットサイズの拡大が起こっても光が基板上部に放射されることは無い。

以上の工程により、電気的に絶縁されたＩｎＰ半導体導波路構造の光結合器が形成できる。このような構成では、ＩｎＰ系半導体では屈折率差Δが４％程度であり、この光結合器を２μｍ幅の導波路から指数関数的に導波路幅を０．４μｍ程度まで狭めることでスポットサイズの変換を行うことができる。ここでは、ＩｎＰを例にあげたが、ＧａＡｓなどの他の半導体導波路構造でも同様に実現できる。またここでは埋め込み型導波路について記したが、第１４図（ｅ）に示すようなハイメサ構造導波路や、第１４図（ｆ）に示すようなリッジ構造導波路でも同様に製造できる。

次に、高分子材料を用いた光結合器の製造方法について説明する。

まず、第１５図（ａ）に示すように、Ｓｉ基板１５０１上に、重水素化ＰＭＭＡ（ポリメタクリル酸メチル）をスピンコート法により塗布し、こ

れを熱硬化することで、膜厚２０μｍ程度のクラッド層１５０２を形成する。引き続き、クラッド層１５０２上に、やはりスピンコート法により紫外線硬化エポキシ樹脂からなる感光性樹脂膜１５０３を、膜厚８μｍ程度に形成する。

次いで、紫外線を光源とし、前述したようなテーパー状に先細りとなる形状の光像を感光性樹脂膜１５０３に露光し、コアとする領域を紫外線硬化させる。この後、酸素ガスを用いたドライエッチングを行い、第１５図（ｂ）に示すように、上述したテーパー状に先細りとなる形状のコア１５０３ａを形成する。なお、ドライエッチングの後に加熱することで、コア１５０３ａの効果を促進させる。最後に、コア１５０３ａを覆うように、重水素化ＰＭＭＡを塗布して熱硬化することで、第１５図（ｃ）に示すように、オーバークラッド層１５０４を形成すれば、埋め込み導波路構造が形成される。

この導波路の屈折率差は１．３％程度であり、前述した光結合器として効果的に機能する。なお、高分子材料としてＰＭＭＡ系ポリマーを例にあげたが、フッ化物ポリマーなどの他の高分子材料を用いるようにしても良い。また、埋め込み型導波路に限るものではなく、ハイメサ構造導波路やリッジ構造導波路を構成するようにしても良い。

以上説明したように、本発明によれば、放射モードへの結合比率が制御され、放射モードに結合する光エネルギーが抑制されるようになるので、断熱変化が可能な状態となり、光ファイバーとの結合損を低減できるようになるというすぐれた効果が得られる。また、導波路の高さは変化させないので、製造コストの増大を招くことなく、上記のことが実現できる。

尚、本発明が上記各実施例に限定されず、本発明の技術思想の範囲内において、上記各実施例は適宜変更され得ることは明らかである。

請求の範囲

１．　所定の開始位置から光信号の放出端にいくほど導波路幅が狭くなるように形成されたテーパー導波路を備え、

前記テーパー導波路を第１の箇所で切断した場合の前記第１の箇所と同じ幅の導波路との固有モードにおける第１の結合率と、前記テーパー導波路を前記第１の箇所から前記放出端方向に所定距離離れた第２の箇所で切断した場合の前記第２の箇所と同じ幅の導波路との固有モードにおける第２の結合率との差が、予め定められた範囲内となるようにされていることを特徴とする光結合器。

２．　請求項１に記載の光結合器において、

前記第１の結合率と第２の結合率との差は、前記放出端の先でこの放出端より放射された光信号が結合される対象との間の所望とする結合損を１より減じた第１の値を、前記第１の箇所と前記第２の箇所との距離で前記テーパー導波路を分割した分割数だけ乗じ、この結果得られた第２の値を１から減じた第３の値よりも小さいものであることを特徴とする光結合器。

３．　請求項１に記載の光結合器において、

前記導波路は、シリコン系ガラス材料から構成されたものであることを特徴とする光結合器。

４．　請求項１に記載の光結合器において、

前記導波路は、半導体から構成されたものであることを特徴とする光結合器。

５．　請求項１に記載の光結合器において、

前記導波路は、高分子材料から構成されたものであることを特徴とする光結合器。

６．　所定の開始位置から光信号の放出端にいくほど導波路幅が狭くなるように形成されたテーパー導波路を備え、

このテーパー導波路の幅の変化は、前記光信号の進行方向に指数関数形状に変化するものであることを特徴とする光結合器。

７．　請求項６に記載の光結合器において、

前記指数関数は、導波路幅をW、前記テーパー導波路の開始点からの距離をｚ、テーパー導波路の初期導波路幅をW_i、前記放出端の幅をW_o、前記テーパー導波路のスタート時の初期導波路幅減少値から算出される定数をα_1としたときに、$W(z)=(W_i-W_o)\exp(-\alpha_1 z)+W_o$で示されるものであることを特徴とする光結合器。

８．　請求項６に記載の光結合器において、

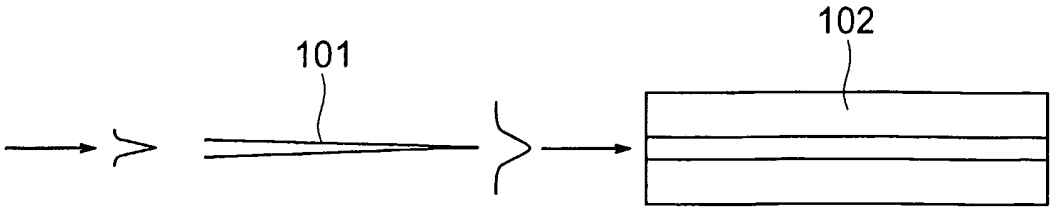
前記導波路は、シリコン系ガラス材料から構成されたものであることを特徴とする光結合器。

９．　請求項６に記載の光結合器において、

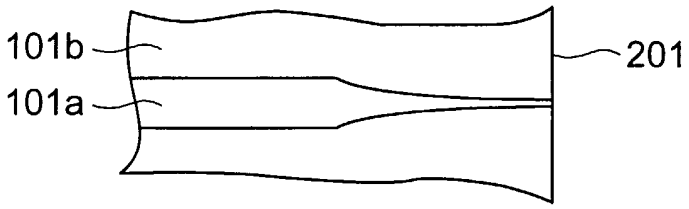
前記導波路は、半導体から構成されたものであることを特徴とする光結合器。

１０．　請求項６に記載の光結合器において、

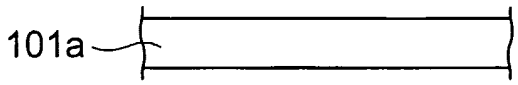
前記導波路は、高分子材料から構成されたものであることを特徴とする光結合器。



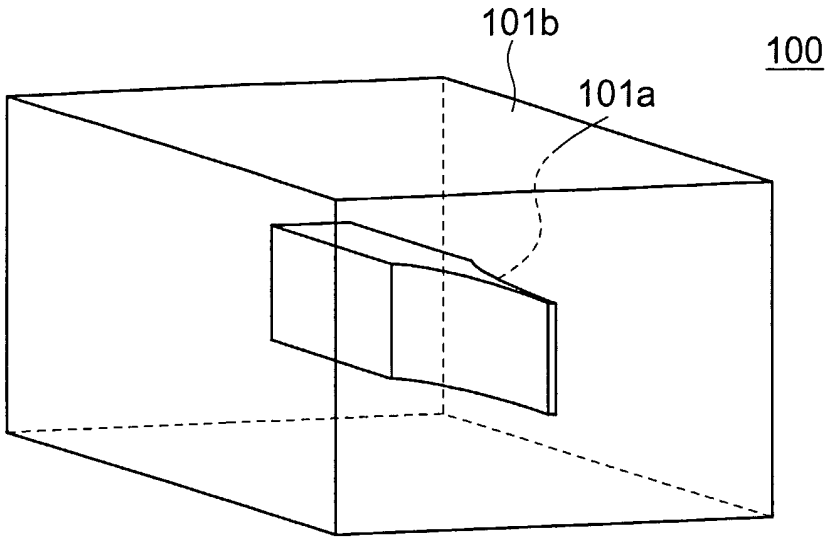
第1図



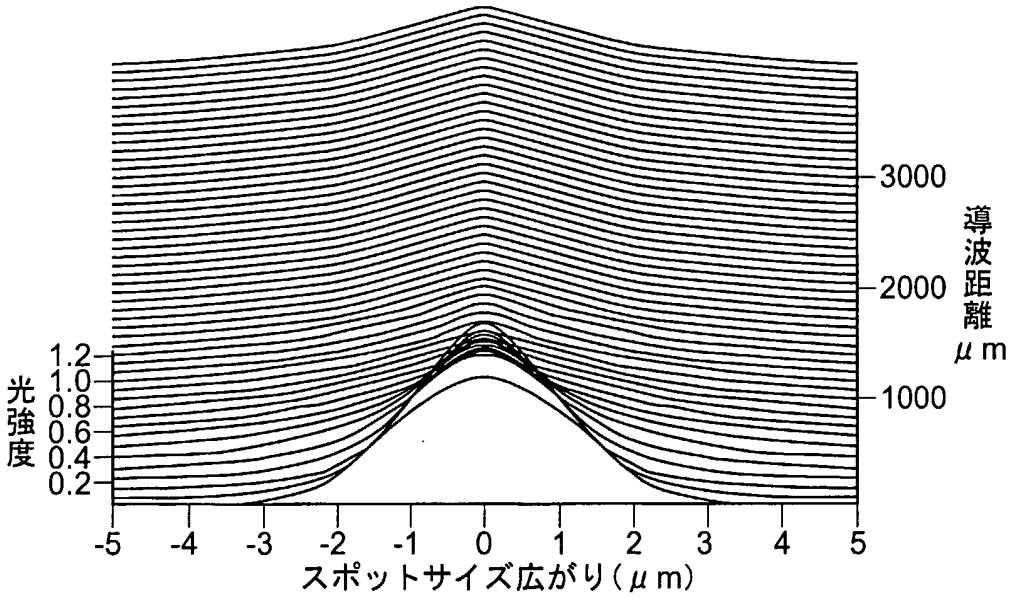
第2図



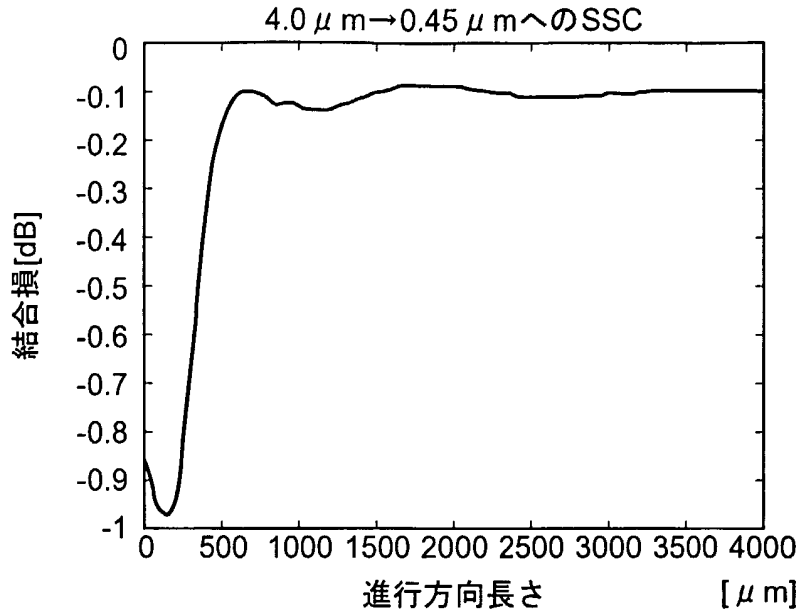
第3図


101b
100
101a

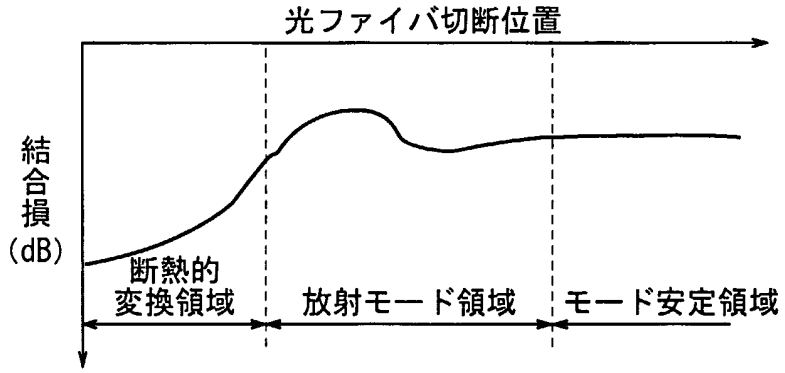
第4図


3000
2000
1000
導波距離 μm
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
光強度
-5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5
スポットサイズ広がり(μm)

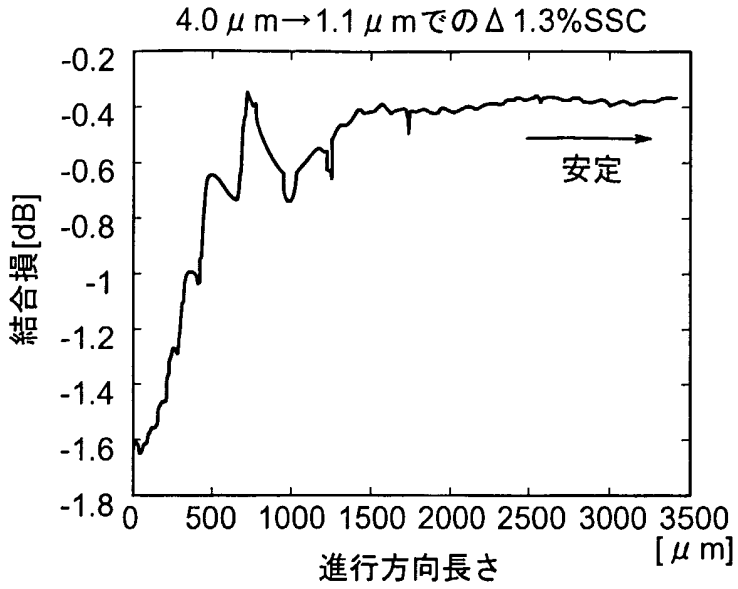
第5図


4.0μm→0.45μmへのSSC
結合損[dB]
0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
-0.6
-0.7
-0.8
-0.9
-1
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000
進行方向長さ [μm]

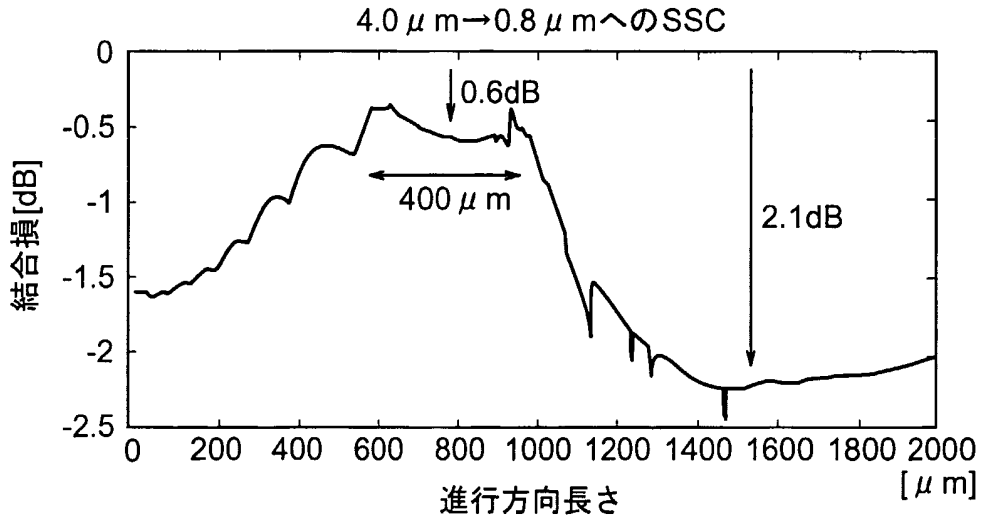
第6図


光ファイバ切断位置
結合損(dB)
断熱的変換領域
放射モード領域
モード安定領域

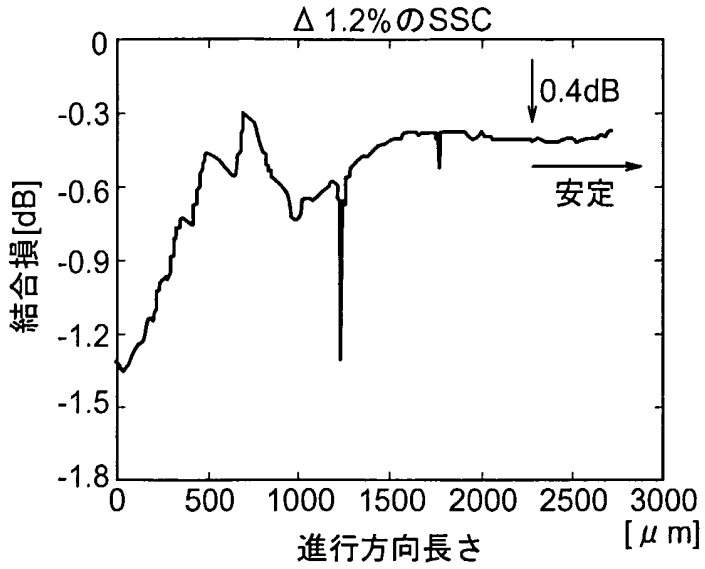
第7図


4.0μm→1.1μmでのΔ1.3%SSC
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1.2
-1.4
-1.6
-1.8
結合損[dB]
安定
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
[μm]
進行方向長さ

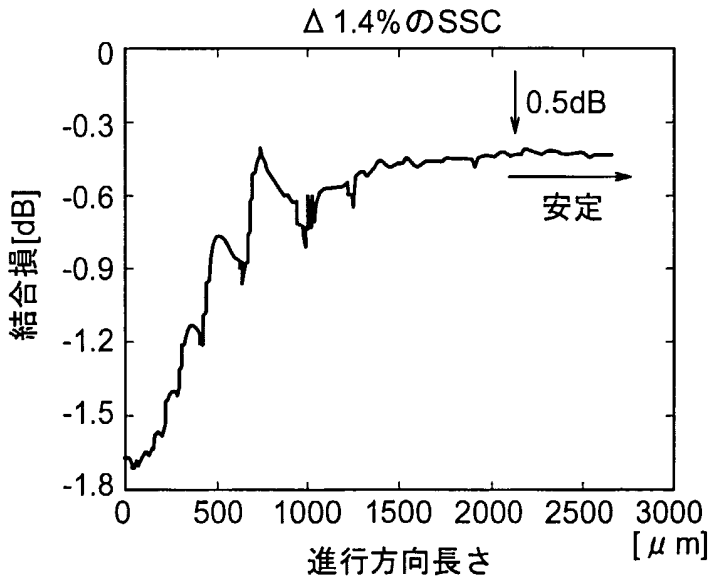
第8図


4.0μm→0.8μmへのSSC
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
結合損[dB]
0.6dB
400μm
2.1dB
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
[μm]
進行方向長さ

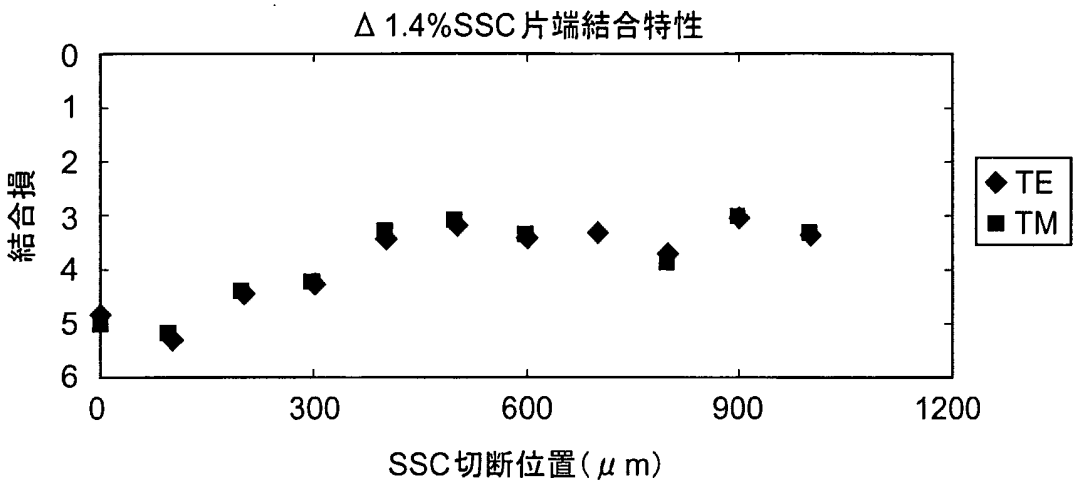
第9図


Δ1.2%のSSC
0
-0.3
-0.6
-0.9
-1.2
-1.5
-1.8
結合損[dB]
0.4dB
安定
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
進行方向長さ
[μm]

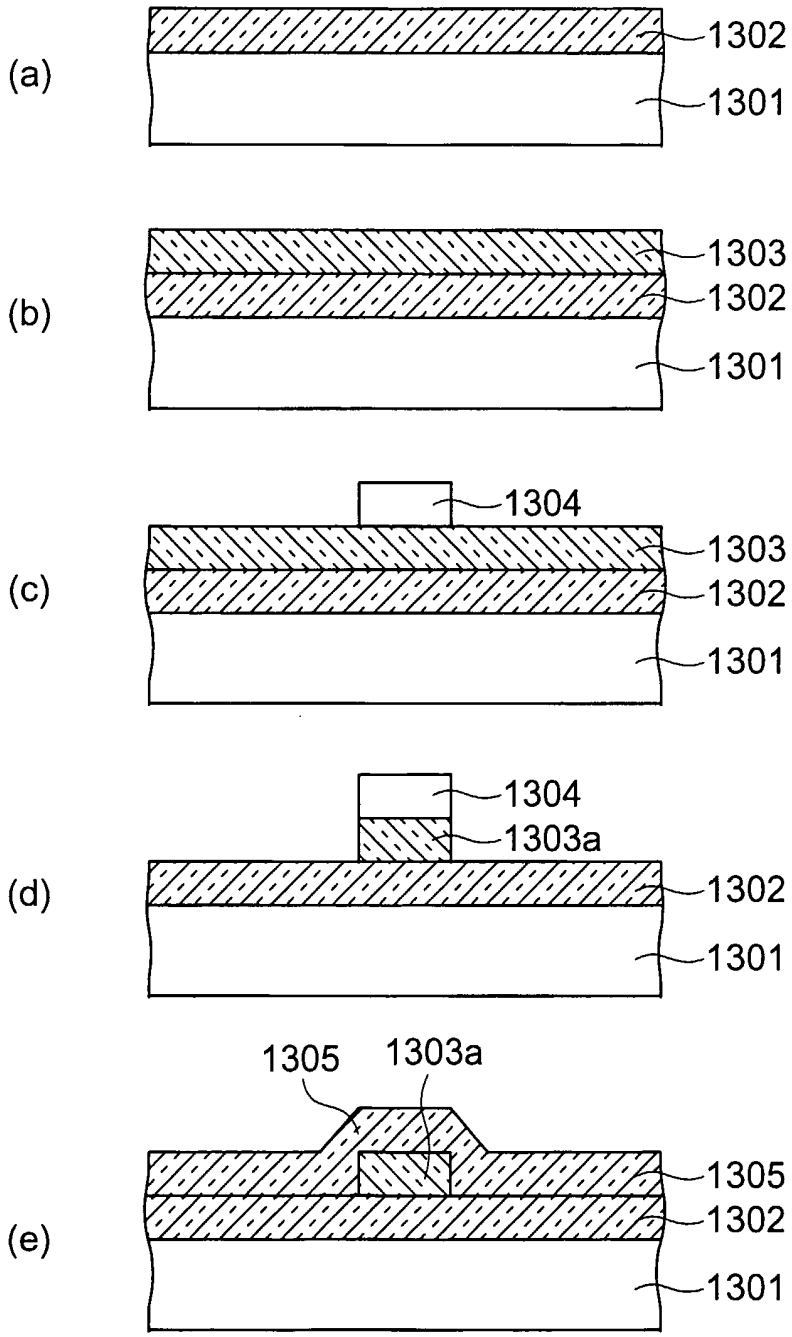
第10図


Δ1.4%のSSC
0
-0.3
-0.6
-0.9
-1.2
-1.5
-1.8
結合損[dB]
0.5dB
安定
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
進行方向長さ
[μm]

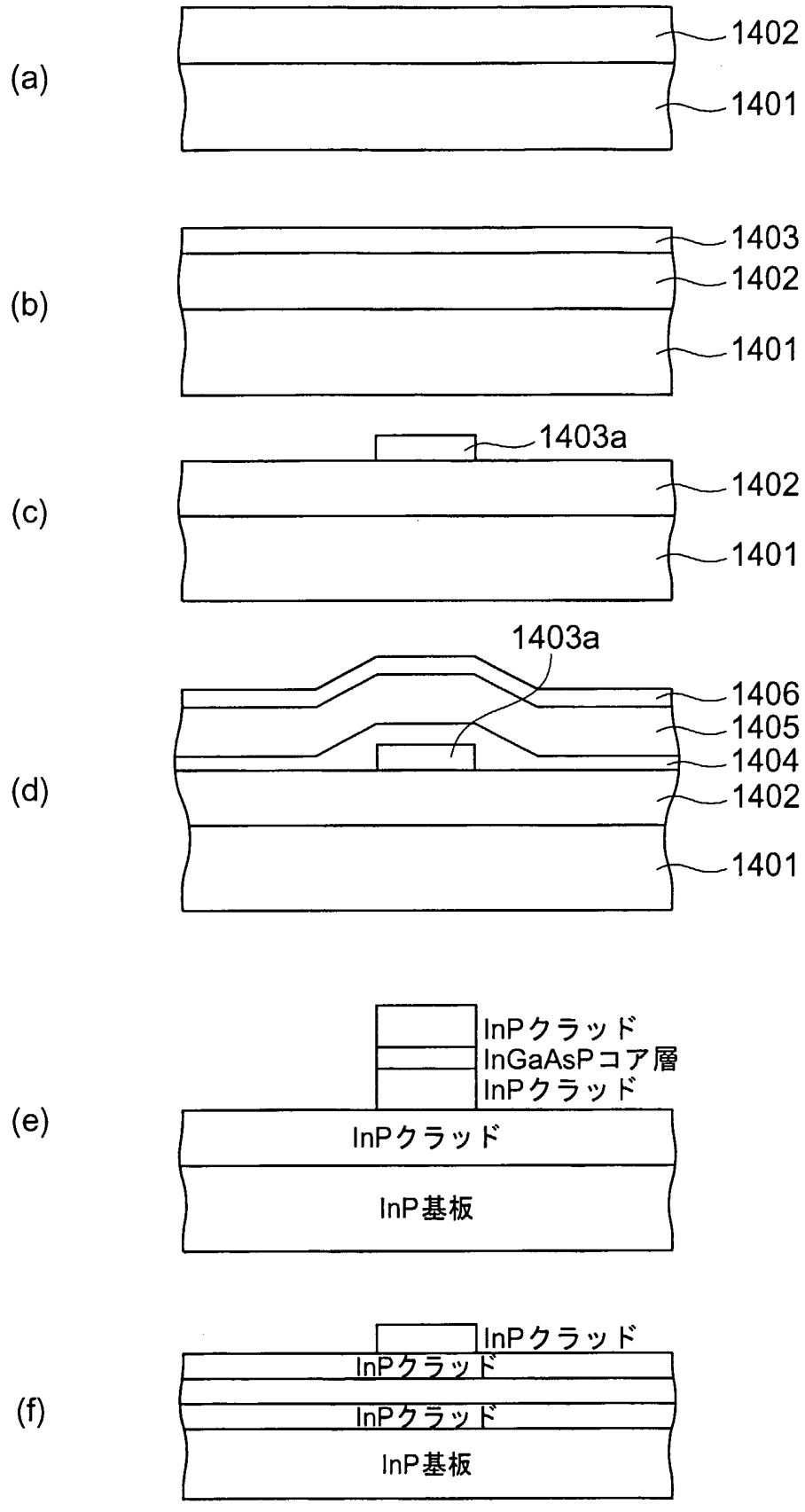
第11図



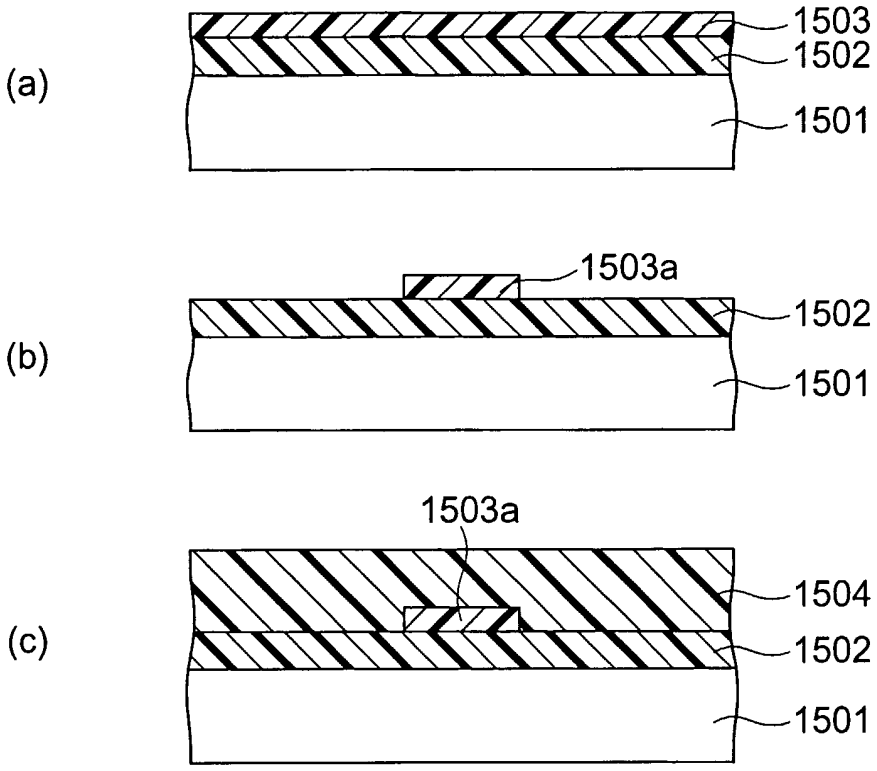
第12図


(a)
1302
1301
(b)
1303
1302
1301
(c)
1304
1303
1302
1301
(d)
1304
1303a
1302
1301
(e)
1305
1303a
1305
1302
1301

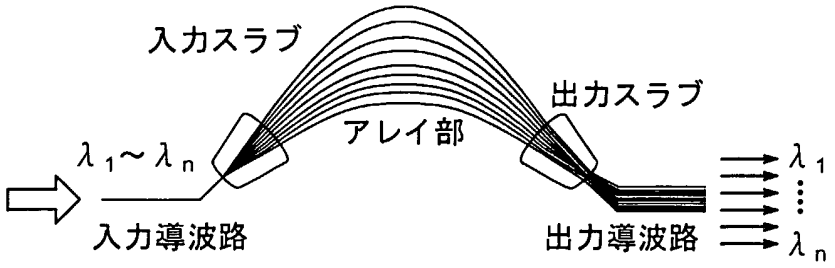
第13図


(a)
1402
1401
(b)
1403
1402
1401
(c)
1403a
1402
1401
(d)
1403a
1406
1405
1404
1402
1401
(e)
InPクラッド
InGaAsPコア層
InPクラッド
InPクラッド
InP基板
(f)
InPクラッド
InPクラッド
InPクラッド
InP基板

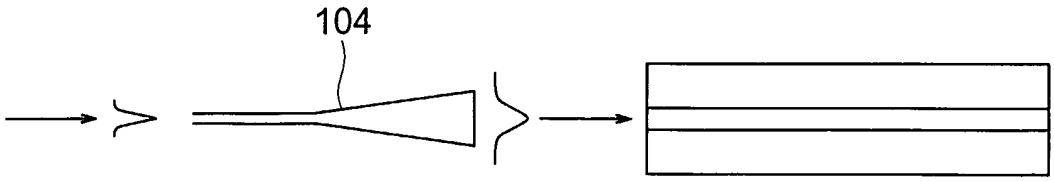
第14図



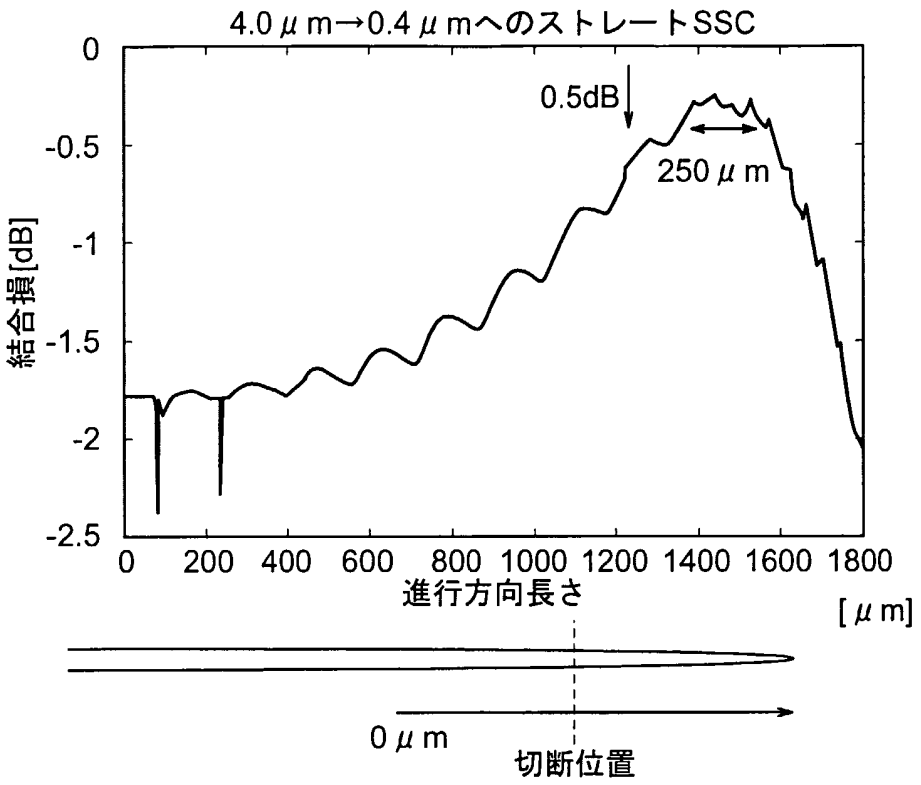
第15図



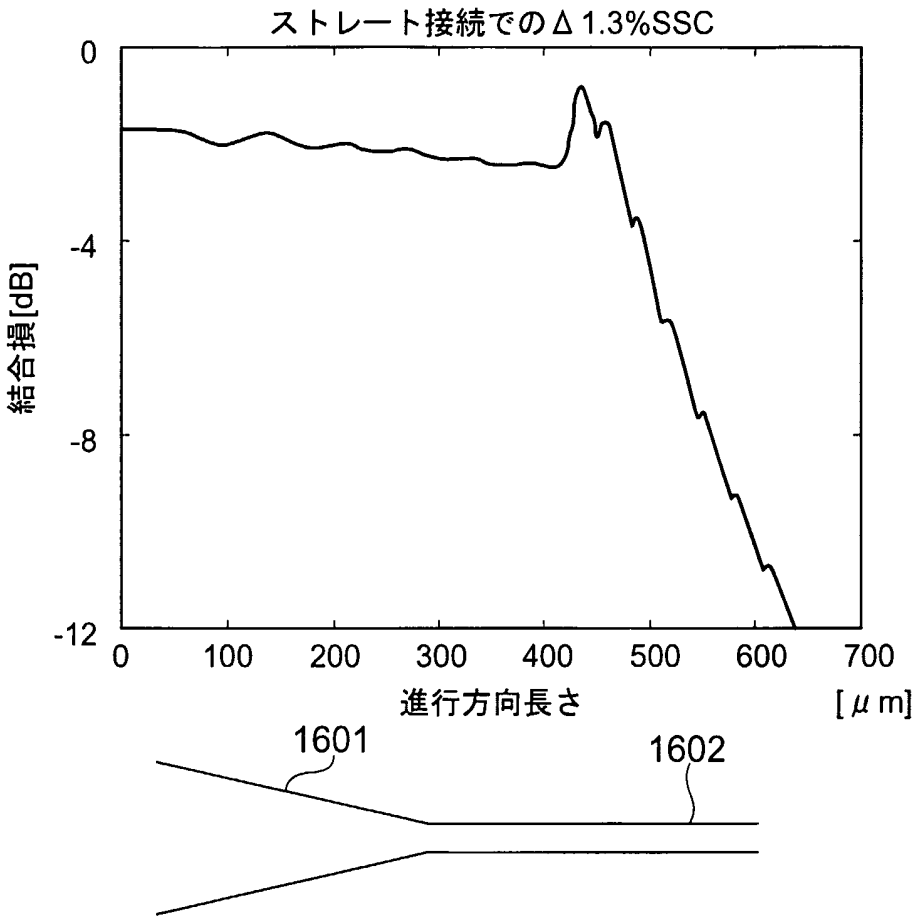
第16図



第17図


4.0μm→0.4μmへのストレートSSC
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
結合損[dB]
0.5dB
250μm
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
進行方向長さ
[μm]
0μm
切断位置

第18図


ストレート接続でのΔ1.3%SSC
0
-4
-8
-12
結合損[dB]
0
100
200
300
400
500
600
700
進行方向長さ
[μm]
1601
1602

第19図

International application No.
PCT/JP02/07908

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] G02B6/30, G02B6/122

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl[7] G02B6/30, G02B6/122

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JICST FILE(JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2850996 B2 (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 27 January, 1999 (27.01.99), Par. Nos. [0008] to [0012], [0015] to [0016]; Figs. 1, 3 (Family: none)	1,3-10 2
A	JP 9-15435 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 17 January, 1997 (17.01.97), Par. No. [0018] (Family: none)	3,5,8,10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
23 August, 2002 (23.08.02)

Date of mailing of the international search report
10 September, 2002 (10.09.02)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ０２／０７９０８

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Ｉｎｔ．Ｃｌ⁷　Ｇ０２Ｂ６／３０，Ｇ０２Ｂ６／１２２

B.　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Ｉｎｔ．Ｃｌ⁷　Ｇ０２Ｂ６／３０，Ｇ０２Ｂ６／１２２

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００２年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

ＪＩＣＳＴファイル（ＪＯＩＳ）

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
X A	ＪＰ　２８５０９９６　Ｂ２（日本電信電話株式会社） １９９９．０１．２７ 段落番号【０００８】－【００１２】，【００１５】－【００１６】，図１，図３（ファミリーなし）	１，３－１０ ２
A	ＪＰ　９－１５４３５　Ａ（日本電信電話株式会社） １９９７．０１．１７ 段落番号【００１８】（ファミリーなし）	３，５，８，１０

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ２３．０８．０２	国際調査報告の発送日　10.09.02
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員） 吉田英一　（御出）　２Ｋ　９１２４ 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５５