

簡易アライメントを目指した テーパ型フレキシブル光導波路の開発

石澤 信彦^{*1} 三上 修^{*2} 塩田 剛史^{*3}

Development of Flexible Optical Waveguide with Tapered Structure Aiming at Easy Alignment by

Nobuhiko ISHIZAWA ^{*1}, Osamu MIKAMI ^{*2} and Tsuyoshi SHIODA ^{*3}

(Received on Sep. 29, 2010 and accepted on Jan. 12, 2011)

Abstract

We fabricated a flexible optical waveguide with a tapered structure, and evaluated its optical characteristics. The core thicknesses at the optical input edge of the waveguides were changed from 90 μ m to 150 μ m. The core thickness decreased continuously from the maximum (90-150 μ m) at the edge to 50 μ m at the uniform region. We measured the optical insertion loss and observed no serious increase in the optical insertion loss by introducing the tapered structure. In addition, we measured the 1dB tolerance for optical coupling which causes excessive loss by 1dB from the minimum insertion loss. The amount of the 1dB tolerance corresponded to almost the maximum core thickness at the input edge of the waveguide. In conclusion, the proposed waveguide has the advantages both for easy assembly with optical components and potential for highly flexible durability, and would be very promising in optical interconnection application.

Keywords: Optical Interconnection, Flexible Optical Waveguide, Easy Alignment

1. はじめに

近年、IT機器への高速・大容量化に伴う機器内の電気配線における信号遅延、クロストーク、帯域制限等の問題が顕在化してきている¹⁾。この問題を解決する手段の1つとして、ボード・チップ間の電気配線の一部を光配線に置き換える光インターコネクション技術が注目されている。その中でもポリマー光導波路は、加工性、柔軟性、低コストといった利点があり、これを用いた光デバイスが多数報告されている^{2), 3)}。

しかし、ポリマー光導波路を含むすべての光インターコネクション技術で解決しなければならない問題がある。その一つが光デバイス同士でのアライメントの問題である。例えば、光源と光導波路との結合にはミクロンオーダーでの位置合わせが必要となり、実装の際の低コスト化への妨げとなる。これを解決するには光導波路のコア径を大きくして光を入射しやすくしなければならない。これは、光導波路を厚くすることを意味している。しかし、携帯電話等のモバイル機器では小型化が進み、必ずと言っていいほどヒンジ部がつきものである。このヒンジ部に光導波路を取り入れるには高屈曲性が必要となり、簡易アライメントのために光導波路を厚くすると屈曲性が失われてしまう。高トレランスを実現するものとして

は、熱拡散技術によって光ファイバのMFD(モードフィールド径)を局所的に拡大させたTEC(Thermally-diffused Expanded Core)ファイバや^{4), 5)}、光硬化性樹脂を用いて自己形成光導波路(SWW: Self-Written Waveguide)を、拡がり角や光強度を調整してテーパ状に作製したものが提案されている⁶⁾。しかし、光インターコネクションに導入される一般的なポリマー光導波路に用いられる作製プロセス⁷⁾では、特に厚み方向に対するテーパ構造は提案されていない。

そこで、この問題を解決するため、光導波路の入力部にテーパ状に厚みを持たせ、一方を薄くすることで簡易アライメントと高屈曲性を同時に実現する光導波路を提案する。本稿では、この光導波路構造について述べるとともに、光導波路と光ファイバおよびVCSEL(Vertical Cavity Surface Emitting LASER: 垂直共振器面発光レーザ)との光結合特性について報告する。

2. テーパ型フレキシブル光導波路

2.1 光導波路構造

Figure 1に提案する光導波路構造を示す。この光導波路はテーパ領域とフラット領域の2つを有する。フラット領域は、コア厚が50 μ m、上部クラッド厚が8 μ m、下部クラッド厚が20 μ m、長さ80mmとした。テーパ領域は入力端を最大コア厚とし、約40mmの長さで連続的に50 μ mまでコア厚を変化させた。このとき、上部ならび

*1 工学研究科情報通信制御システム工学専攻修士課程

*2 工学部光・画像工学科教授

*3 三井化学株式会社

に下部クラッドの厚みはフラット領域と同じとした。今回、最大コア厚が 150, 130, 110, 90 μm となる 4 種のサンプルを試作した。試作した光導波路は、膜厚分布を持ったコアフィルムを上下のクラッド層で挟む 3 層の積層構造ならびに、一般的なダイシングプロセスを用いて形成された 2 本の溝で光を閉じ込める構造を有する。また、テーパ構造はドクター・ブレード法と呼ばれる良く知られた手法を用いて膜厚を調節して、コーティングを施している。この構造を採用することで、簡易アライメントと高屈曲性を同時に実現する設計である。なお、今回用いた寸法以外も作製可能だが、一例としてこれを用いた。材料はポリイミドを用い、コアとクラッドの屈折率は波長 850nm において、それぞれ 1.56 と 1.51 であった。試作した光導波路とその入力端の写真を Fig. 2 に示す。

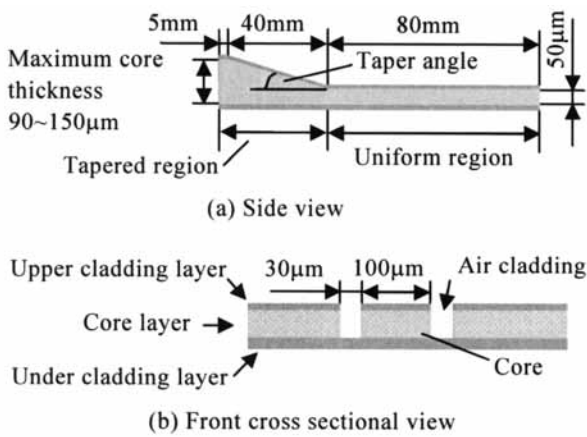
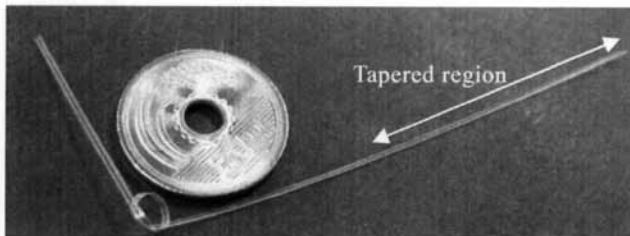
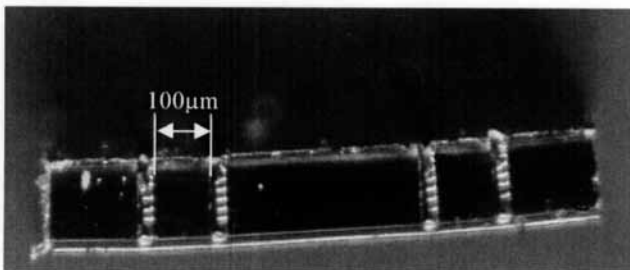


Fig. 1 Schematic structure of proposed tapered flexible waveguide



(a) Overall view of waveguide



(b) Cross section of the input port

Fig. 2 Photograph of the fabricated waveguide

2.2 テーパ領域のコア厚分布

次に、実際に試作した光導波路のテーパ領域における膜厚分布がどのようになっているかを確認するために光

学顕微鏡を用いて観測した。Figure 3 は最大コア厚ごとのテーパ領域における膜厚分布である。観測結果よりコア厚は各導波路の最大コア厚から 50 μm まで連続的に変化していることを確認した。なお、グラフの線が波打っているように見えるが、横軸は mm オーダー、縦軸は μm オーダーであり、実際の形状はなだらかである。さらに、今回は顕微鏡を用い、距離を計測する際は目視で位置を決めているため、波打ち形状が強調されて見えている。ここで、各光導波路のテーパ領域における最大傾斜を目視で見つけ、そこから最大テーパ角を求めた。Table 1 に最大コア厚ごとの最大テーパ角をまとめたものを示す。

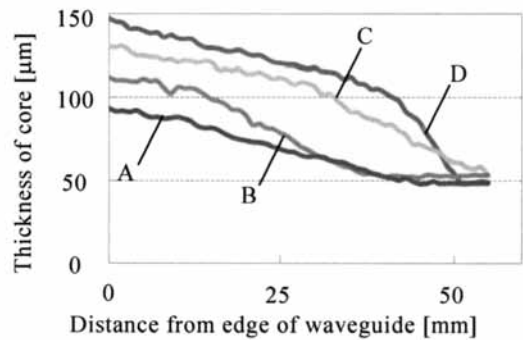


Fig. 3 Core thickness profile of the tapered region

Table 1 Taper Angle

Sample	Max core thickness	Max taper angle
A	90 μm	0.07 deg.
B	110 μm	0.12 deg.
C	130 μm	0.12 deg.
D	150 μm	0.33 deg.

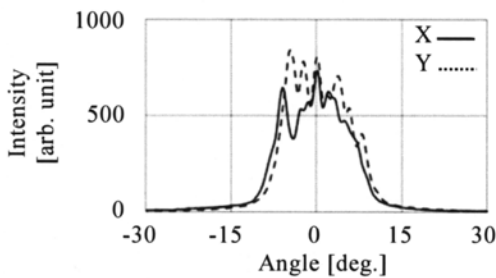
3. 光結合特性

3.1 光挿入損失

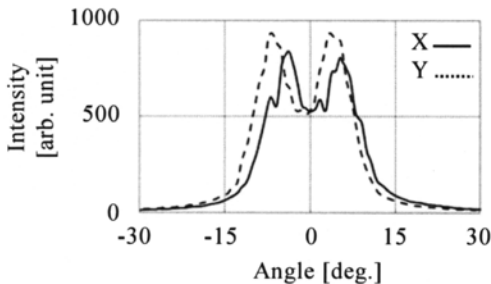
提案する光導波路の光挿入損失の測定を行った。今回は光源を 2 種類用いた。1 つは長さ 500m の光ファイバ (GI-MMF[50/125 μm]) に波長 850nm のレーザー光を入射させたものである。もう 1 つは、VCSEL である。Figure 4 に光ファイバと VCSEL の FFP (Far Field Pattern) プロファイルを示す。各光源から出た光を光導波路の入力端に入射させる。そして、各光導波路からの出射光を、大口径のパワーメータで光強度を測定し損失を算出した。この時、光導波路と 10 μm 程度接近させた光源を厚み方向に動かし、光強度が最大となるようにした。Fig. 4 より光ファイバからの出射光は比較的 low order mode の光が多く、VCSEL からの出射光は high order mode の分布が多いことが分かった。この 2 つを用いることでモード分布の違いによる光挿入損失の影響を確認することができる。

Fig. 5 に、各光導波路の最大テーパ角ごとの光挿入損失をまとめたものを示す。ここでは比較のためにテーパ構造の無いコア厚が 50 μm で一定のフラットな光導波路の挿入損失の結果も一緒に示す。測定結果より、最大テーパ角が変化しても挿入損失の増加がないことを確認した。また、この研究とは別に同じ材料を用いたフラット

な光導波路を 1000 本用いてその挿入損失を測定し、その 3 倍標準偏差(3 σ)が 0.4dB であることを確認しており、各光導波路における損失の違いはばらつきの範囲内と考えることができ、このことでも最大テーパ角が変化しても損失が変わらないといえる。また、光ファイバと VCSEL の測定結果を比較すると、挿入損失自体は 0.5dB 程度増えているが、テーパ角が大きくなることによる損失の変化は見てとれなかった。このことより、高次モードの分布が多い光を入射しても、テーパ角を増加したことによる損失の増加はないといえる。これは、高次モードが多い入射光分布を励振としているが、テーパ角を考慮に入れてもクラッドへの放射モードにはなっていないと考えている。現在、光線追跡法などを用いながらその証明をしているところである。



(a) Optical fiber



(b) VCSEL

Fig. 4 FFP profile of optical fiber and VCSEL

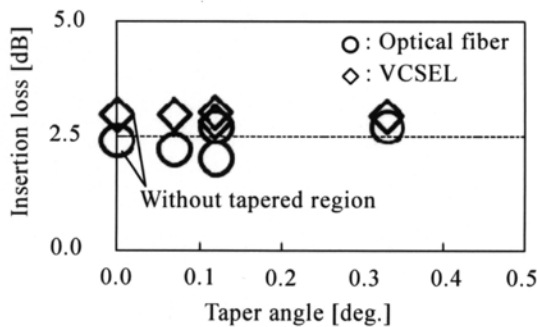


Fig. 5 Taper angle dependence of the optical inserting loss

3.2 位置トレランス

提案する光導波路と光ファイバ (GI-MMF) との光結合における位置合わせトレランスを確認するため、先ほどの光損失の測定系を用いた。光導波路の入力端に近づけた光ファイバを下部クラッドから上部クラッドの方向

に動かしていき、大口径のパワーメータで受け、損失の変化を観測した。その際、最小損失値から 1dB 上昇した 2 点間の距離を 1dB トレランスとして定義し、位置合わせの指標とした。Figure 6 に最大コア厚が 90 μ m のときの 1dB トレランスの例を示す。このとき、1dB トレランスは 80 μ m となった。Figure 7 に最大コア厚と 1dB トレランスとの関係をまとめたものを示す。ここでも参考に、コア厚 50 μ m のフラットな光導波路の結果も一緒に示す。なお、破線はコア厚と 1dB トレランスの値が一致したときのものである。測定結果より、すべての光導波路においてコア厚を厚くした分だけ 1dB トレランスが上昇することを確認した。

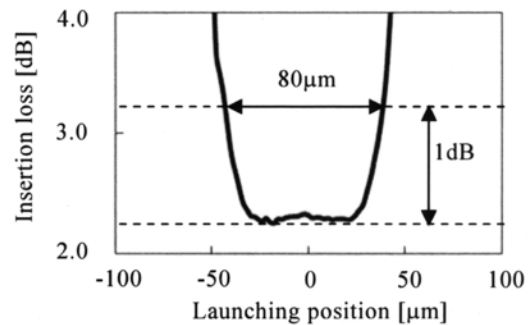


Fig. 6 Example of 1dB tolerance

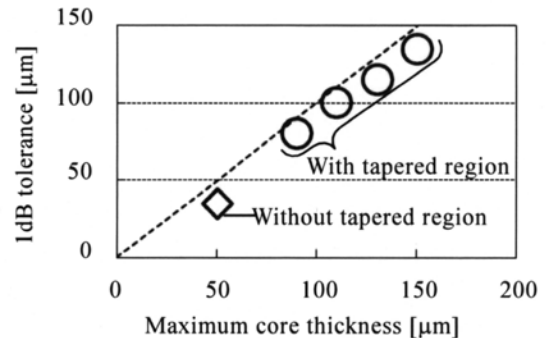


Fig. 7 Maximum core thickness dependence of 1dB tolerance

3.3 曲げ損失

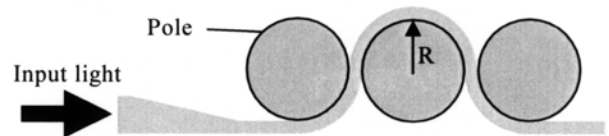


Fig. 8 Bending loss measurement system

提案する光導波路の曲げ損失を測定するため、Fig. 8 の測定系を用いた。3.1 項の光ファイバ(GI-MMF)を通るレーザ光を入射し、大口径のパワーメータで受けた。この時、入射ファイバの位置をずらし光強度が最大となるようにした。図中のような支柱を用いて 360 度の曲げを作り、支柱の半径を曲げ半径 R とし 5mm から 1mm まで小さくし、損失の変化を測定した。なお、今回測定に用いた光導波路は最大コア厚が 90 μ m と 130 μ m のものである。Figure 9 に曲げ損失の測定結果を示す。ここで、 ∞

と表示しているのは曲げていない状態での値である。測定結果より曲げ半径の減少に伴う変化は非常に小さく、0.1dB 程度の増加であった。ただしこれについては、入射光のモード分布が大きく関わることが予想されるので今後、VCSEL 等の高次モードでの検証が必要になる。

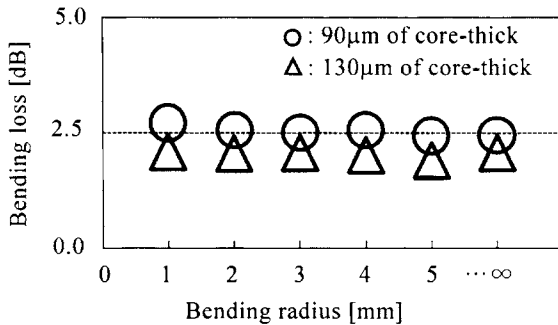


Fig. 9 Bending radius dependence of bending loss

4. むすび

今回、光導波路の入力部にテーパ状に厚みを持たせ、他方を薄くすることで簡易アライメントと高屈曲性を同時に実現する光導波路を提案し、その光結合特性について報告した。挿入損失測定より、光導波路のテーパ角を大きくしても挿入損失は変わらないことを確認した。また、より高次モードの分布が多い VCSEL 光を入射した時、挿入損失自体は増加したが、テーパ角の違いによる損失の変化は無く、テーパ構造による損失の変化はないことを確認した。次に、トレランス測定を行い、入力端の最大コア厚を 150µm にした場合にはコア厚が 50µm の時に比べ約 3 倍のトレランスが得られた。また曲げ損失測定では、最小曲げ半径 1mm までで損失は 0.1dB 程度の増加にとどまった。

提案した光導波路は、厚みを持った領域と薄い領域からなる簡単な構造でありながら、高屈曲性と緩い位置合わせ精度すなわち実装コストの低減とを同時に実現することができ、光インターコネクションの実現に大きく貢献することができると考えている。

参考文献

- 1) M. M. Meis, "Opto-electronic backplane technology for cost effective band width management," Proc. Electronics Components and Technology Conference 2003, pp.1073-1076, New Orleans, USA, May2003
- 2) O. Mikami, "Development of Optical Surface Mount Technology," The Journal of the Institute of Electronics Information, and Communication Engineers, 88(6), pp.428-434, June2005.
- 3) T. Shioda, "Fluorinated polyimide waveguide film fabricated by replication process and its application to optical interconnection," Proc. SPIE (ITCom 2003), Vol. 5246, pp. 131-142, Orlando, USA, July2003.
- 4) K. Shiraishi, Y. Aizawa, S. Kawakami, "Beam expanding fiber using thermal diffusion of the dopant," IEEE/OSA J. Lightwave Technol. 8, pp. 1151-1161, Oct.1993.
- 5) K. Shiraishi, T. Yanagi, S. Kawakami, "Light-propagation characteristics in thermally-diffused expanded core fibers," J. Lightwave Technol. 11(10), pp. 1584 - 1591, Dec.2005.
- 6) Y. Mimura, H. Ozawa, Y. Obata, O. Mikami, T. Shioda, "Coupling Characteristics of Tapered Self-written Waveguide," Proceedings of the Society Conference of IEICE, Electronics (1), pp.175, Dec.2005.
- 7) S. Kobayashi, "Research and Development Trends on Polymer Waveguides," Journal of Japan Institute of Electronics Packaging, 12(5), pp.375-380, Aug.2009.