

光波の蛇行抑制による折れ曲りスラブ光導波路の低損失化

正員 堀田 昌志<sup>†</sup> 正員 下代 雅啓<sup>†</sup>  
 正員 沢 新之輔<sup>††</sup>

New Design Consideration for Low-Loss Single-Mode Bent Slab Waveguides by Suppressing Optical Beam Undulation

Masashi HOTTA<sup>†</sup>, Masahiro GESHIRO<sup>†</sup> and  
 Shinnosuke SAWA<sup>††</sup>, Members

<sup>†</sup> 愛媛大学工学部電気電子工学科, 松山市  
 Faculty of Engineering, Ehime University, Matsuyama-shi, 790  
 Japan  
<sup>††</sup> 大阪府立大学工学部電気工学科, 堺市  
 College of Engineering, University of Osaka Prefecture, Sakai-shi, 591  
 Japan

あらまし 軸ずれを伴う2本の導波路間の接続において、導波路中の光波の蛇行を抑制することにより、低損失な多段折れ曲り導波路が構成できることを示す。損失特性はビーム伝搬法に基づく解析によって数値的に検討されている。

キーワード: ビーム伝搬法, 曲り導波路, 光波の蛇行, 単一モードスラブ導波路, 低損失構成法

1. まえがき

軸ずれを伴う2本の導波路を連結するためには曲り導波路が必要不可欠であり、これまでにいくつかの低損失構成法が提案されている<sup>(1)~(4)</sup>。一方、筆者らは単一モード伝送 Y 分岐スラブ光導波路の界分布特性をビーム伝搬法(PBM)<sup>(5)</sup>で解析し、光波の蛇行の抑制が導波路の低損失化につながるという一つの結論を得ている<sup>(6)</sup>。そこで本論文では、単一モードスラブ光導波路の曲り部に対する低損失構成法の一つとして、導波路内での光波の蛇行を抑制するという観点から、多段折れ曲り設計法を新たに提案する。導波路に沿う光波の解析には本設計法に適したPBMを用いる。

2. 多段折れ曲りの構成法

導波路は、He-Ne レーザの波長(0.6328 μm)において単一モード領域にあるように、その構造パラメータを次のように定める。すなわち、導波路幅を  $d=4\ \mu\text{m}$ 、導波路の各領域の屈折率を  $n_1=1.5115$ ,  $n_2=1.51$  とする。

ここで、図1において傾き  $\theta_1$  の導波路の界分布をPBMで解析すると、入射導波路では導波路の中心軸と一致していたピークが、折れ曲り部では図の1点鎖線で示すように中心軸の周りを蛇行する。これは、単一

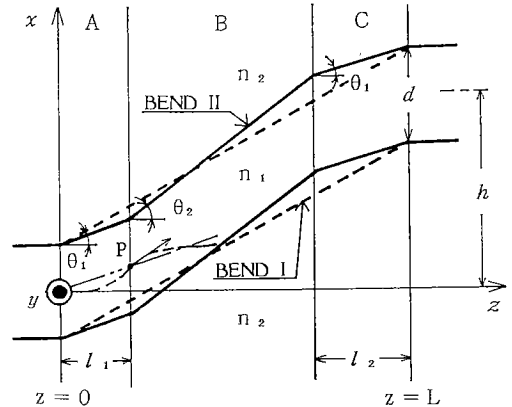


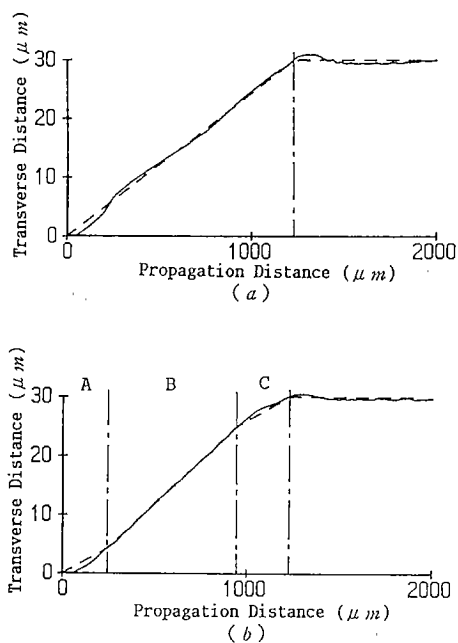
図1 折れ曲り導波路  
 Fig. 1 Bent slab waveguides.

モード導波路の場合、放射モードとの結合による影響である。そこで、ピークが導波路軸と最初に交差する点  $P$  において、その軌跡の接線方向に導波路を折り曲げる。図1では傾きが  $\theta_2$  の導波路がこれに対応する。導波路の傾きをこのように変えれば領域 B での光波の蛇行がなくなり、この部分での放射損がほとんど抑制されるものと思われる。例えば、先に定めた構造パラメータで折れ曲り部 A の傾き角を  $\theta_1=1^\circ$  として PBM を適用すると、

上述の点  $P$  までの距離は  $l_1=240\ \mu\text{m}$  となり、そこで軌跡の接線の傾き角は  $\theta_2=1.687^\circ$  となる。また、2本の軸ずれ導波路の間隔を  $h=30\ \mu\text{m}$  とし、出射導波路と領域 B の間にも同様の手法を用いて、傾き角が  $1^\circ$  の領域 C を設けると  $282.5\ \mu\text{m}$  必要となる。このとき、曲り導波路の全長は  $L=1231.6\ \mu\text{m}$  となり、平均傾き角は  $1.395^\circ$  となる。図1の破線は、この平均傾き角による単純な折れ曲り接続(折れ曲り I, BEND I)を示している。なお、この設計法では、 $\theta_1$  および領域 B の長さは任意に設定できるが、全体の損失は  $\theta_1$  に最も強く依存すると考えられるため、その決定には注意を要する。

3. 解析結果

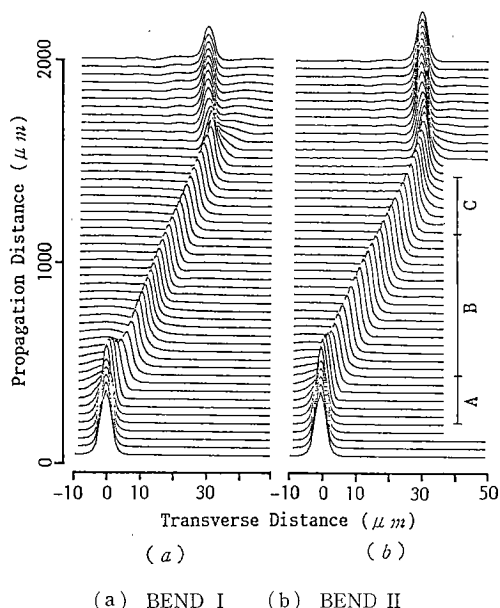
比較のために、傾き角  $1.395^\circ$  の折れ曲り I および前章で設計した多段折れ曲り(折れ曲り II, BEND II)におけるピークの軌跡をそれぞれ図2に示す。但し、破線は導波路の中心軸を表している。また、PBMによって導波路全体にわたる界分布を求めると図3のようになる。以上の結果より、折れ曲り I では領域 B においても蛇行が続き、しかも領域 C の直後でひときわ大き



(a) BEND I (b) BEND II

図2 折れ曲り導波路中のピークの軌跡

Fig. 2 Locus of the peak along the bent waveguides. Dashed lines represent the waveguide center.



(a) BEND I (b) BEND II

図3 折れ曲り導波路中の光強度分布

Fig. 3 Field distributions along the bent waveguides.

な蛇行が認められる。これに対して、折れ曲りIIでは、領域B以降の蛇行はほとんど抑制されている。

いま、単位電力の入射に対して、固有モードとの重畳積分により出射電力を評価すると、折れ曲りIでは0.53となる。これに対して、折れ曲りIIでは0.78となり、損失特性が1.6 dB以上改善されている。

次に、同じく多段折れ曲りによる低損失構成法の一例として文献(3)の方法を取り上げて比較する。この構成条件に基づいて先の折れ曲りを設計すると  $l_1=l_2=268.8 \mu\text{m}$ ,  $\theta_1=\theta_2/2$  となる。このとき、単位電力入射に対する出射電力は0.81となった。また、文献(4)の方法で同じ接続部を設計し、PBMで解析すると約0.84の出射電力が得られる。以上の結果より、本論文で提案した設計法に基づく多段折れ曲りは、従来の低損失構成法とほぼ同程度の損失特性を示すことが期待できる。

#### 4. むすび

本論文では、曲り導波路の低損失化に関して、光波の蛇行抑制に注目した新しい構成法を提案し、優れた損失特性を得ることができた。しかし、本解析で用いたPBMは、離散的フーリエ変換を用いるため、数値的な制約条件に縛られており、その解析精度には限界がある<sup>(7)</sup>。そして、解析手法の精度そのものが本設計法の精度に直接影響するものと思われる。従って、そのような条件に縛られないPBMを適用すれば<sup>(8)</sup>、より優れた特性の折れ曲りを設計することが可能であると考えられる。最後に、既に提案されている多段折れ曲り接続法と本論文で示した設計法の関連を明らかにする必要があるが、これらは今後の課題と考えている。

謝辞 本研究に関し、有益な御討論を頂いた本学工学部助教授小野和雄博士に謝意を表す。

#### 文 献

- (1) Beats R. and Lagasse P. E.: "Loss calculation and design of arbitrarily curved integrated-optic waveguides", J. Opt. Soc. Am., 73, 2, pp. 177-182 (1983).
- (2) Johnson L. M. and Leonberger F. J.: "Low-loss LiNbO<sub>3</sub> waveguide bends with coherent coupling", Opt. Lett., 8, pp. 111-113 (1983).
- (3) 小野和雄, 沢新之輔: "2モード不均一結合系の一解析法とその応用", 信学論(C), J69-C, 10, pp. 1255-1265 (1986-10).
- (4) 佐藤 稔, 中島将光: "折れ曲り光導波路の曲げ角の拡大", 信学技報, OQE88-113 (1988-02).
- (5) Feit M. D. and Fleck J. A. Jr.: "Light propagation in graded-index optical fibers", Appl. Opt., 17, 24, pp. 3990-3998 (1978).
- (6) 堀田昌志, 下代雅啓, 沢新之輔: "ビーム伝搬法によるモー

- ド変換形 Y 分岐スラブ光導波路中の光波伝搬の解析”, 信  
学論(C-I), **J74-C-I**, 10, pp. 375-378 (1991-10).
- (7) Van Roey J., van der Donk J. and Lagasse P. E. :  
“Beam-propagation method : analysis and assessment”,  
J. Opt. Soc. Am., **71**, 7, pp. 803-810 (1981).
- (8) 松原正則: “ガレルキン法に基づく新しいビーム伝搬法”,  
信学論(C-I), **J72-C-I**, 8, pp. 473-478 (1989-08).  
(平成 3 年 9 月 27 日受付, 12 月 10 日再受付)
-