

不均一分布結合を用いた光分配器の一構成法

正員 堀田 昌志[†] 正員 下代 雅啓[†]
 准員 荒芝 智幸[†] 正員 沢 新之輔^{††}

Design Considerations for Optical Power Dividers of Ununiformly Distributed-Coupling Type

Masashi HOTTA[†], Masahiro GESHIRO[†], Members,
 Tomoyuki ARASHIBA[†], Associate Member and
 Shinnosuke SAWA^{††}, Member

[†] 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

^{††} 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

あらし 作製が容易な平行3線分布結合系からなる結合型分配器に、軸ずれ構造を導入することで素子長を大幅に短縮できることを示している。光波の伝搬特性の解析は、ビーム伝搬法に基づいている。

キーワード 平行3線, 不均一分布結合, 光分配器, 軸ずれ導波路, ビーム伝搬法

1. まえがき

光分配器は、光通信システムにおいて、光信号の分配・合流という最も基本的な機能を担う素子である。その一つの典型がY分岐導波路であり、筆者らも、これまでにモード変換型の低損失構造を提案し、理論的ならびに実験的にその諸特性を明らかにしてきた^{(1),(2)}。しかし、イオン交換法などでY分岐導波路を作製する場合、分岐点付近に生ずる屈折率の乱れによってその部分だけで1dB以上の放射損を被ることが報告されている⁽³⁾。これに対して、近接する導波路間の分布結合を利用した結合型分配器もいくつか提案されている⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。この種の分配器は、構造的な分岐がもたらす問題点をかかえておらず、作製が容易である。しかし、Y分岐導波路と比べると、おおむね光波の分離に必要な結合長だけ長くなるという難点がある。

そこで本論文では、これまでに提案されている結合型分配器の内、平行3線分布結合系からなる分配器^{(6),(7)}を取り上げ、軸ずれ構造による不均一分布結合を導入することで、大幅な素子長の短縮が可能であることを明らかにする。解析は、素子中の光波の振舞いを容易に求めることのできるビーム伝搬法(BPM)⁽⁸⁾による。なお、分配器を構成する各導波路はすべて単一モード導波路とする。

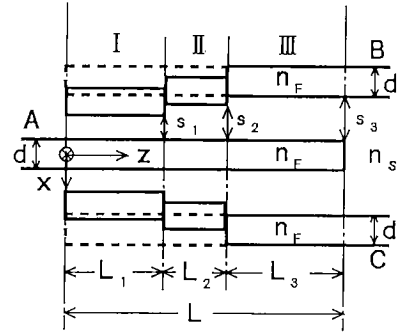


図1 平行3線分布結合系からなる光分配器
 Fig. 1 Optical power dividers utilizing distributed coupling among three parallel waveguides.

2. 結合型分配器

図1中に破線で示すように、導波路間隔 s_3 、長さ L の対称な平行3線均一分布結合系を含む結合型分配器を考える^{(6),(7)}。以下では、光波の波長を $\lambda=0.6328\mu\text{m}$ とし、各導波路が単一モード伝送条件を満足するように、導波路幅を $d=4\mu\text{m}$ 、コアおよびクラッドの屈折率を、それぞれ、 $n_F=1.5115$ および $n_S=1.51$ とする。今、光波は中央の導波路Aから入射するものとする。このとき、平行3線分布結合系の長さ L を、光波がその両側の導波路B、Cへ完全に移行するのに必要な距離、すなわち、完全結合長となるように選ばば、光波を効率よく2等分することができる。この結合系では、各導波路の間隔を狭くすれば、導波路間の結合が強くなり、その結果、完全結合長の短縮が可能となる。しかし、導波路間隔を狭くしすぎると、結合系が被る放射損は無視できなくなる。また、このような構成法では、完全結合長で導波路Aを切断したとき、導波路BおよびCの間で結合が存在しないことが望ましい。以上の条件を鑑み、本論文では、導波路間隔を $s_3=5\mu\text{m}$ とする。

この分配器の、分布結合系の長さを数値的に求めると、 $L=3807.0\mu\text{m}$ となる。また、別の計算によれば、前述の構造パラメータで導波路間隔が $10\mu\text{m}$ 程度あれば、分布結合はほとんど認められなくなる。

3. 軸ずれ導波路からなる不均一分布結合系

前章で得た結合系の長さを短縮するために、図1中に実線で示すように、導波路間隔が、領域I、IIおよびIIIで階段状に変化するような不均一結合系を導入する。導波路幅および屈折率は、前章と同じ値を用いる。導波路間隔は、放射損があまり顕著に現れない範囲で、結合系の入口付近で最も結合が強くなり、出口に近づくに

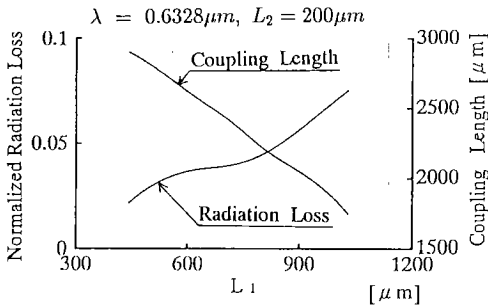


図2 不均一分布結合系の完全結合長と放射損の L_1 依存性
但し, $L_2=200\mu\text{m}$, $\lambda=0.6328\mu\text{m}$
Fig. 2 Coupling length and normalized radiation loss in
the ununiform coupler versus L_1 , where $L_2=200$
 μm and $\lambda=0.6328\mu\text{m}$.

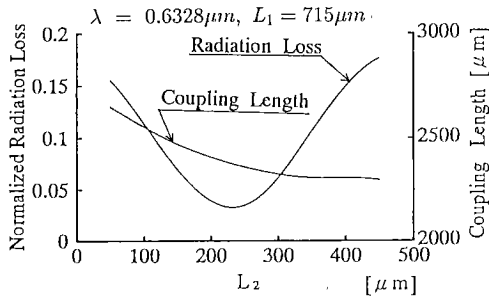


図3 不均一分布結合系の完全結合長と放射損の L_2 依存性
但し, $L_1=715\mu\text{m}$, $\lambda=0.6328\mu\text{m}$
Fig. 3 Coupling length and normalized radiation loss in
the ununiform coupler versus L_2 , where $L_1=715$
 μm and $\lambda=0.6328\mu\text{m}$.

つれて弱くなるように設定する。ここでは $s_1=3\mu\text{m}$ および $s_2=4\mu\text{m}$ とする。但し、導波路 A を切断した後の条件を同一にするために、 s_3 は前章と同じく $5\mu\text{m}$ としている。以下、このようなパラメータの下に、放射損を低く抑えたままで、完全結合長を短縮するための条件を数値的に検討する。

まず図2に、領域IIの長さを $L_2=200\mu\text{m}$ に固定し、領域Iの長さ L_1 を変化させた場合の結合系の完全結合長ならびに出射端で見た全放射損を示す。放射損は、入射電力で正規化してある。同図より、領域Iが長くなるに従って、完全結合長は短くなっていることがわかる。また L_1 が $715\mu\text{m}$ 以上では、放射損の増加率が大きくなっている。そこで、本論文では、領域Iの長さを $L_1=715\mu\text{m}$ とする。

次に図3に、領域Iの長さを $L_1=715\mu\text{m}$ に固定し、領域IIの長さ L_2 を変化させた場合の完全結合長ならびに放射損を示す。同図より、領域IIを長くすることに

よっても、完全結合長を短縮できることがわかる。しかし、放射損については、 $L_2=232\mu\text{m}$ で極小値を取ることが明らかになった。ところで、導波路BまたはCのような構造をもつ単独の軸ずれ導波路において、領域IIの長さをコヒーレント結合長と一致するように選べば、軸ずれに伴う放射損を低減できることが報告されている⁽¹⁰⁾。図3の結果より、軸ずれを伴う3線間の分布結合系においても、それと同様の現象が存在するものと推察される。

ここで、 $L_1=715\mu\text{m}$, $L_2=232\mu\text{m}$ とした場合の不均一分布結合系の完全結合長を数値的に求めると $2375.0\mu\text{m}$ となる。すなわち、放射損を3.3%程度に低く抑えたままで、均一結合系を含む分配器に対して40%近く素子長を短縮できることになる。より高いレベルの放射損を許容するならば、より短い分配器の設計が可能である。

4. むすび

本論文では、作製が容易な平行3線分布結合系を用いた結合型光分配器に、軸ずれ構造を導入することで、放射損を増大させることなく、素子長の大幅な短縮が可能であることを示した。ところで、より広い分離間隔が要求される場合、出射側導波路に曲り部を導入する必要がある。このような場合の低損失構成法の検討は今後の課題としたい。

謝辞 本研究を進めるに当たり、数値計算を手助けして頂いた、住友セメント株式会社の武市聖氏、ならびに、神戸製鋼所の中津充生氏に感謝します。

文 献

- (1) 沢新之輔, 小野和雄, 森 誠二: “モード変換型光分岐導波路の構成理論”, 信学論(C), **J71-C**, 3, pp. 432-443 (1988-03).
- (2) 沢新之輔, 小野和雄, 堀田昌志: “ガラス製モード変換型Y分岐光導波路の試作”, 信学論(C-I), **J73-C-I**, 10, pp. 636-644 (1990-10).
- (3) 仲間健一, 小林 茂: “イオン交換ガラスY分岐導波路の低損失化”, 信学論(C-I), **J75-C-I**, 6, pp. 480-482 (1992-06).
- (4) Findarkly T. and Chen B.: “Single-mode Integrated Optical 1×N Star Coupler”, Appl. Phys. Lett., **40**, 7, pp. 549-550 (1982).
- (5) 山内潤治, 安藤拓司, 中野久松: “折れ曲がり導波路をもつパワー分配器の解析”, 1991 信学春季全大, C-200.
- (6) Kuznetsov M. and Haus H. A.: “Radiation Loss in Dielectric Waveguide Structures by the Volume Current Method”, IEEE J. Quantum Electron., **QE-19**, 10, pp. 1505-1514 (1983).
- (7) 堀田昌志, 下代雅啓, 武市 聖, 沢新之輔: “分布結合系を用いた2等分配器の一構成法”, 信学技報, **OQE91-161**

- (1992-01).
- (8) Cai Y., Mizumoto T. and Naito Y. : "Analysis of the Coupling Characteristics of a Tapered Three-Guide Coupled System", J. Lightwave Tech., 8, 10, pp. 1621-1629 (1990).
- (9) Feit M. D. and Fleck J. A. Jr. : "Light Propagation in Graded-index Optical Fibers", Appl. Opt., 17, 24, pp. 3990-3998 (1978).
- (10) 山内潤治, 三浦啓彰, 中野久松 : "軸ずれた誘電体スラブ導波路のコヒーレント結合", 信学論 (C-I), J73-C-I, 6, pp. 478-480 (1990-06).
(平成4年7月8日受付, 8月14日再受付)
-