レーザーオリジナル

操作性に優れた光回路CADシステムの構築

法 月 真 澄*・後 藤 正 見*・中 島 啓 幾*

(1995年8月8日 受理)

Development of a User-friendly Optical Circuit CAD System

Masumi NORIZUKI*, Masami GOTO*, Hirochika NAKAJIMA*

(Received August 8, 1995)

To construct an accurate, user-friendly system for designing complex, large-scale integrated optical circuits, we have developed a new data format translator for connecting commercially available CAD tool packages and a controlling macro-program for efficient design using a language on a UNIX workstation. The translator divides polygons expressed in the GDSII file output from the layout editor into trapezoids for the segment file input to the simulator using the Beam Propagation Method. The controlling macro-program executes all CAD tools automatically and changes any parameters of the optical circuits. These two useful programs enable us to design complex large scale integrated optical circuits remarkably in a short time, and optimize the circuits' parameters very easily.

Key Words: CAD, Layout editor, Optical waveguide, GDSII, Beam propagation method

1. はじめに

所望の特性を有する光デバイス・光回路を効率的に開発するためには、設計・解析・測定/評価を一貫して行うことのできる環境を整備する必要がある。すでに、電子デバイス・LSIの開発ではこのような環境が整い、レイアウト設計、特性解析、試作回路のデータ抽出等の個別専用ソフトウェアがツールとして確立されている。さらに、開発者がツール間のデータのやりとりを通して目的とする回路を設計できるシステムが構築され、今日の隆盛を迎えている。

これに対して、光デバイス・光回路の特性解析

を統合的に行おうとする試みも先端的な研究機関内部では精力的に行われており、完成度の高いシステムも報告されている^{1,2)}。その一方で、光回路の普及を見通した使いやすい個別ツール・パッケージ(たとえば、フォトマスクパターン設計用CADツール、光の伝搬特性数値解析用CADツール)も市販され始めている³⁻⁵⁾。このことは、実際にデバイス・回路を作製する研究開発者にとっては朗報ではあるがツール間のデータのやりとりまで配慮されているもの⁶⁾は少なく、複雑な形状や大規模な光回路の特性解析シミュレーションを困難にしている。

我々は市販の光回路設計ツールと解析ツール

* (株)富士通研究所 (〒243-01 厚木市森の里宮10-1)

* Fujitsu Laboratories, Ltd. (10-1 Morinosato-Wakamiya, Atsugi, Kanagawa 243-01)

をUNIXワークステーション上で接続することにより、操作性に優れた光回路CADシステムを構築し、前述の課題に対する解決を試みた。また、光回路CADシステムを制御するためのマクロプログラムを開発し、設計作業の一層の効率化を図った。本稿では、光回路設計ツールと解析ツールを繋ぐ独自に開発したデータ形式変換プログラム、および、制御マクロプログラムを中心に述べるとともに、本システムを活用した光回路の設計例を報告する。

2. 光回路CADシステムの構築

Fig. 1に我々の構築した光回路CADシステムの構成図を示す。パターン設計用CADツールの出力図形データと解析用CADツールの入力図形データを以下に述べるデータ形式変換プログラムで接続することにより、フォトマスク専用データをBPM(Beam Propagation Method)解析用入力データとして使用することを可能とし、光回路の設計・解析をUNIXワークステーション上で一貫して行えるシステムを構築した。なお、これらのCADツールは、UNIXのネットワーク機能を利用することによって、別のコンピュータからも使用可能であるため、遠隔地の光回路開発者にとっても非常に有効である。

2.1 優れた操作性の実現

パターン設計用CADツールとしては、光回路のフォトマスク作成用として開発されたジーメンス・ニクスドルフ社製のSigraph-Optik Ver.3.1²⁾(以降Sigraphと略記)をここでは用いている。解析用CADツールとしては既に普及しているBPMの一例としてFrance-Telecom社製のBPM-CNET/ALCOR V.2.3⁴⁾(以降ALCORと略記)を採用上げた。以下に、これらのツールについて簡単に説明する。

2.1.1 レイアウト専用CADツール(Sigraph)

Sigraphは、UNIXワークステーションベースの対話型CADツールであり、直線、曲がり、Y分岐、グレーティング、テーパ、台形、交差、多角形、S字形等の現在考えられている光導波路形状を要素部品として登録しており、それらに対応する画面上の「アイコン」により選択できる(Fig. 2)。また、2つの要素部品を接続する際、「スコッチテープ」と呼ばれる貼付け専用の要素を、対象となる要素間に貼付けることによって、接続にずれが生じないような仕組みを採用している。従って、ユーザは、LSI用CADを利用して光回路のレイアウト設計を行う時のように接続部の設計に過剰な注意を払う必要はない。

Fig. 1 Optical circuit CAD system.

Fig. 2 Layout editor-Sigraph.

Fig. 3 BPM simulator-ALCOR

また、複雑な光回路のレイアウト設計を行う場合でも作図に必要な座標計算を頻繁に実行することなく単に登録された「アイコン」を順次クリックし、必要なパラメータを入力するという作業によって容易にレイアウト図形の設計が可能である。更に、繰返しパターンを数多く含む光回路を設計する際には、専用のプログラム言語AQL⁷⁾を使用して作図手順やパラメータを記述することによって光回路の一括設計が可能となっている。Sigraph上で作成したデータは、図形を多角形の頂点列データで表現したGDSII形式⁸⁾と呼ばれるフォトマスク専用データ形式に保存する。

2.1.2 BPM解析ツール(ALCOR)

ALCORは、UNIXワークステーションベースの光回路解析CADであり、光回路を解析する手法として現在最も普及しているBPMを採用している。優れたグラフィック機能によって、計算結果は直観的にわかりやすく色分け表示できる。ALCORでは対象とする図形情報の入力用として光導波路形状を台形群により表現する独自のセグメントファイル形式を使用している(後述)。

2.2 図形データ形式変換

ここでは、Y分岐導波路を例に挙げて、図形データ形式変換のアルゴリズム⁹⁾について簡単

Fig. 4 GDSII format.

に説明する。Fig. 4にSigraphの出力図形データ形式(GDS II)を、Fig. 5にAlcorの入力図形データ形式(セグメント形式)を示す。

Sigraphの図形出力データとして通常使用するGDS II形式においては、図形は3つ以上の頂点から構成される多角形として近似され、その多角形の各頂点の座標が時計回りにファイルに記録されている。Fig. 4に示すY分岐導波路の場合は、9つの頂点(点1から点9)によって表わされた多角形として近似されている(なお、GDS II形式では、1つの図形を近似している多角形は最大で256頂点で構成される)。

Fig. 5 Segment format.

一方, ALCORの解析用入力図形データ形式であるセグメント形式では, Fig. 5のようなY分岐導波路はTrapezoid(台形)IからVI(ただし三角形JKM, 三角形HILも台形とみなす)の集合体として表わされるため, 図形データとしては, 個々の台形を構成する4頂点座標データ毎に

ファイルに記録される。

つぎに, Fig. 6に今回開発したデータ形式変換プログラムの簡単なアルゴリズムを示す。

まず, GDS II形式で記録された図形の全頂点について, 光の伝搬方向(Z軸)に関して座標が一致する頂点をグループ化しそれら頂点のZ座標をファイルに全て記録する(step a)。

次に, $Z=Z_1 \sim Z_5$ なる直線(分割線)をZ軸に垂直に下し5つの領域(Region1~5)に分割する(step b)。ここからは, 隣接する分割線, すなわち, $Z=Z_3$, および $Z=Z_5$ に囲まれたRegion3に着目して台形分割手順を説明する。

まず, 直線 $Z=Z_5$, Z_3 と交わる辺 L_{23} , L_{54} , L_{56} , L_{87} をみつけ, それらの交点 $2'$, 5 , $8'$, 3 , $4'$, $6'$, 7 から直線 $2'-3$, $5-4'$, $5-6'$, $8'-7$ を新たに定義した上で各直線に対応する番号を付け, ファイル1に記録しておく(step c)。そして, $Z=Z_5$ と交わる直線の端点 $2'$, 5 , $8'$ および, $Z=Z_3$ と交わる直線の端点 3 , $4'$, $6'$, 7 のX座標値を各々ファイル2, 3に記録する。ここで, ファイル2, 3の直線の両端点のX座標値をもとにして, 直線を昇順, すなわち, $8'-7$, $5-6'$, $5-4'$, $2'-3$ の順に並べ替え, ファイル1を更新する(step d)。更に, ファ

Fig. 6 Flowchart of the data format translator.

イル1の記録順に2つずつ直線の組($L_{2'3}$ と $L_{54'}$, $L_{56'}$ と $L_{8'7}$)を作り, 台形の2辺を決定する(step e)。Trapezoid IVは直線 $L_{2'3}$ と $L_{54'}$ により, Trapezoid IIIは直線 $L_{56'}$ と $L_{8'7}$ により形成される。

最後に, 各台形を構成する4頂点(Trapezoid IVについては, $\{5, 2', 4', 3\}$, Trapezoid IIIについては, $\{8', 5, 7, 6'\}$)座標値をファイルに記録する(step f)。

以上のように, 全てのRegionについて, step cからstep eを繰り返すことによってY分岐導波路は6つの台形に分割され, 図形データはセグメント形式で保存される。

2.3 制御マクロプログラムによるパラメータの掃引

これまで述べてきた各ツール(Sigraph, デー

タ変換プログラム, ALCOR)を使用して光回路を設計する際, 設計者は所望の特性を得るまで何度も各ツールを起動し実行していく必要がある。そのため, 光回路の所望の特性を満たす最適なパラメータ値を見出だす作業には多大の時間を要し, 特に, 大規模な光回路の設計/解析を行う際には, パラメータ数が増加するため, 作業効率は著しく悪くなる。

我々は, この問題解決のためレイアウト設計ツールに内蔵された図形データの作成・編集が可能なプログラミング言語(AQL)を活用し各ツールを自動的に実行する制御マクロプログラムを開発した。

Fig. 7にその具体的な実行手順を示す。ただし, 光回路を構成する各光導波路要素のパラメータは, 図形パラメータファイル, もしくは,

Fig. 7 Flowchart of the controlling macro-program.

制御マクロプログラムの中で予め指定する。この機能を利用することによって登録された多種の光導波路を組み合わせて多機能な光回路を効率的に設計できる。Sigraphが立上がった状態で本プログラムを起動すると、解析すべき光回路形状の作図手順を指定したプログラムを呼び出し、図形パラメータファイルから導波路パラメータを読み出していき、自動作図をおこなう(STEP1, 2)。こうして、特性解析を行うべき光回路のレイアウト設計が完了した後、図形データは、GDSIIデータ形式として保存される(STEP3)。続いて、制御マクロプログラムは、前述の図形データ形式変換プログラムを起動し

(STEP4)、GDSII形式データをセグメント形式データへ変換し、セグメントファイルとして出力したのち(STEP5)、終了する(STEP6)。ここで光回路の物理パラメータと計算実行に必要な計算ステップ幅等の計算パラメータを物理パラメータファイルに指定し、解析の準備が完了する。続いて、制御マクロプログラムは、BPM解析ツールALCORを起動し(STEP7)、既に作成されたセグメントファイルからは、解析用図形データを(STEP8)、物理パラメータファイルからは、物理パラメータと計算パラメータを読み出し(STEP9)、指定した計算手順に従って解析を実行していく(STEP10)。計算完了ののち計

Fig. 8 Waveguide cross-section.

Fig. 9 Layout of an S-shaped waveguide with offset.

Fig. 10 Radiation loss vs. offset.

算結果を表示し、保存する(STEP11)。更に、着目している図形パラメータ、もしくは、物理パラメータを更新していく(STEP12, 13)。パラメータ掃引完了後、保存結果を編集し、出力データファイルにまとめた後、グラフィックツール(MathWorks社製MATLAB)を立ち上げ、グラフとして表示する(STEP14)。

3. 光回路設計/解析例 オフセット付S字導波路

ここでは、上記で説明した光回路CADシステムを使用した光回路の設計例としてオフセット付S字導波路を採り上げ、曲がり部の放射損失の低減のためのシミュレーションを行った結果を示す。

Fig. 8は今回シミュレーションを行ったS字導波路の断面構造である。コアの断面寸法は $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ 、コア屈折率 $n_{\text{core}}=1.468$ 、オーバクラッド厚 $20\mu\text{m}$ 、アンダクラッド厚 $20\mu\text{m}$ 、クラッド屈折率 $n_{\text{clad}}=1.457$ 、入射光波長 $1.55\mu\text{m}$ とした。制御マクロプログラムでは、まず、オフセット量を $0\mu\text{m}$ から $6\mu\text{m}$ までステップ $0.2\mu\text{m}$ で変化させ、Fig. 9のようなオフセット付S字導波路を自動作図していく。この光回路は、直線導波路、スコッチテープ、曲がり導波路から構成されており、直線と曲がり、曲がりと曲

がり、曲がりと直線のスコッチテープにおいて互いの中心軸の位置をずらすように設計されている。なお、今回上記の各部オフセット量は等しいものとした。

このような「オフセット」により、オフセットなしの時に生じる光の界分布の導波路中心からのずれを中心位置へと戻すことができ放射損失を低減できる。作図が終了すると制御マクロプログラムはデータ形式変換プログラムにて図形データ変換を実行し、ALCORを起動することでBPM解析を実行する。BPM解析結果からS字導波路の出射端面のパワーの入射パワーに対する比を計算した結果、Fig. 10のようになった。このグラフから、オフセット量が $2.0\mu\text{m}$ のときに 0.75 dB と最も放射損失が少なくなることがわかる。オフセット $0\mu\text{m}$ から $6\mu\text{m}$ までの図形の自動作図から放射損失を得るまでに要した時間はわずか30分程度であり、従来、図形編集と計算実行を手作業で行っていたのに比べると10倍程度作業効率を向上できた。Fig. 11にオフセットがない場合、Fig. 12にオフセットが $2.0\mu\text{m}$ の場合のシミュレーション結果を示す。ALCORのパワー表示色分け機能により、オフセットがない場合には、曲がり部で著しく放射損失が発生しているのに比べ、 $2\mu\text{m}$ のオフセットが施されている場合には、放射損失が抑制さ

Fig. 11 Simulation result of the S-shaped waveguide without offset.

Fig. 12 Simulation result of the S-shaped waveguide with offset ($2.0 \mu\text{m}$).

れていることが直観的に把握できる。

4. まとめ

以上述べたように、我々は市販のCADツール間に図形データ互換性をもたせるデータ形式変換プログラム、及び、ツール制御用のマクロプログラムを開発することにより、UNIXワークステーション上に操作性の優れた光回路CADシステムの構築を行った。本CADシステムを活用することによって、オフセット付S字導波路の放射損失とを最小にするオフセット量を短時間で見出すことができ、本CADシステムの有効性を示せた。

今後、光回路は集積化、高機能化、多機能化が進み、レイアウト設計ツールには、実デバイスにできるだけ近い3次元解析モデル構築のための高精度モデリング技術が要求され、また、解析用ツールには、BPMより高精度な解析手法が必要となる。そして、図形データはもとより、物理データもCADツール間で互換性をもたせ、CADシステム全体の操作性を向上させることも重要となる。更に、最適設計を目的として、実デバイスと設計モデルとの誤差をCADシステムにフィードバックし、より信頼性の高い設

計を可能とする機構や所望の特性を満足させるように多数のパラメータを最適化していく機能も必要となる。

最近になって、光導波路関連のCADの開発は活発化してはいるものの、LSIのCADシステムと比較すると、機能、操作性の面でまだまだ未熟と言わざるを得ない。しかし、今後、前述のような機能を着実に開発・導入していくことにより光回路CADシステムは、より一層発展・普及していき新たな光回路の開発に貢献するだろう。

参 考 文 献

- 1) T. P. Young et al.: GEC Journal of Research, Vol.6, No.3 (1988).
- 2) 小柴正則：電子情報通信学会論文誌 C-I Vol.J77-C-I No.5 (1994) 159.
- 3) R. Muller-Nawrath and R. Marz: 19D2-2, IOOC '89.
- 4) M. Filoche et al.: BPM-CNET/ALCOR Ver. 2.3 User Manual, 1993.
- 5) Z. Jakubczyk: OWA11, ODP '93.
- 6) G. Perrone et al.: T.4.5, GRIN '92.
- 7) SIGGRAPH Volume3 AQL Language Description Rel. 3.0, SIEMENS NIXDORF, 1991.
- 8) Construct Stream Format Manual Version 3.0, Valid Logic Systems Inc., 1990.
- 9) M. Norizuki et al.: pp.125, MOC/GRIN '93.

レーザワード

光導波路(optical waveguide)

基板上に設けた屈折率の高い領域(コア)に入射した光を屈折率の低い領域(クラッド)との境界面で反射を繰り返しながら伝搬させるデバイス。ニオブ酸リチウム等の電気光学結晶、ガラス、有機材料、半導体など多種類の材料が利用されている。光導波路は、その形状を工夫することにより、伝搬光を分岐したり、合波する基本的な機能をはじめとして、多波長の入射光を波長毎に分離する高度な機能までも一枚の基板上に実現できる特徴をもっている。最近では、多機能化・集積化を目指した研究開発が活発化している。(法月 真澄)

ビーム伝搬法 (beam propagation method: BPM)

導波光伝搬、特に光導波路内の光波伝搬問題の直接的数値解析法として有力な手法である。BPMでは、光波のふるまいを規定する波動方程式を解く手法として、伝搬方向に垂直な導波路断面内の電磁界の離散的フーリエ変換と伝搬方向の微小区間毎の逐次計算を繰り返し実行することにより導波モードと放射モードを一体化して計算できる。この手法は、取扱いの容易さから導波路解析に広く用いられてきており、現在では、さらに高精度化を図り、汎用性を高めるため、差分法、有限要素法等を利用した改良形BPM(FD-BPM, FE-BPM)の開発が進んでいる。(法月 真澄)