

# 最近の技術から

## 光デバイスの設計技術

茅 根 直 樹

(株)日立製作所中央研究所 〒185 国分寺市東恋が窪 1-280

### 1. ま え が き

近年情報処理分野への光技術導入に関する研究開発が活発化している。計算機への本格的な光デバイス導入のためには、本特集の他の報告にもあるように光デバイスの高集積化が重要な課題となるであろう。従来光通信や光ディスクなどの分野では主として単体の光デバイスが実用化されてきた。しかしながら高集積化へ向けて、新たな素子構造やプロセス技術の研究開発と共に、素子プロセス工程の期間や費用の増大に対処するための素子設計技術の向上も重要な研究課題である。

シリコン LSI の世界では設計のための計算機支援設計ツール (CAD) が発達しており、デバイスシミュレータや回路シミュレータなどを組み合わせた統合 LSI シミュレータが発達しつつある。光デバイスの世界では、シリコンと比べると電子と光の両面からシミュレーションを行う必要があるのと、量子井戸構造のような量子効果を含む新しい技術が一般化しているために、部分的な動作解析は行われているものの、総合的なデバイスシミュレーションの技術はあまり発達していない。また従来の単体のデバイスの場合、シミュレーションで動作を予測するよりも作った方が早いという研究開発現場の事情もある。しかしながら今後計算機への高集積化光デバイスの導入のためには、デバイスシミュレータの本格的な研究開発が必要不可欠である。最近プロセス技術の進歩やデバイス物理に関する理解の進展によって設計に従った光デバイスを作製できるようになってきているので、シミュレータ技術開発のための環境は整いつつある。またシミュレータの導入によってデバイス開発期間が短縮されれば、光デバイス応用分野の発展も促進できるであろう。

ここでは、光デバイスの設計技術としてデバイスシミュレーションに焦点を当てて現状を紹介する。

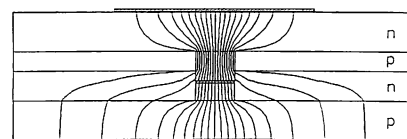
### 2. 半導体レーザーのシミュレータ

光情報処理分野では、発受光素子に限らず光スイッチ

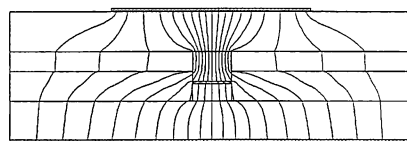
表 1 半導体レーザー動作解析シミュレータの報告例

次元	時 間	発表機関	発表年度
2	定 常	日立 <sup>1)</sup>	1985
2	定 常	東芝 <sup>2)</sup>	1987
2	定 常	NEC <sup>3)</sup>	1987
2	非定常	NTT <sup>4)</sup>	1988
3	定 常	NTT <sup>5)</sup>	1990

や光変調器などのさまざまなデバイスが用いられると予想される。これらの中では現在最もシミュレータの技術が進んでいるのは半導体レーザーである。主な報告例を表 1 に示す。多くは 2 次元面内 (即ち光軸に垂直に切った断面内) での光分布や電流分布を求めてデバイス特性をシミュレートするものであるが<sup>1-4)</sup>、光軸方向も含めた 3 次元解析の報告例もある<sup>5)</sup>。また直流的な定常解を求めるものがほとんどであるが、過渡応答を解析できるものも報告されている<sup>4)</sup>。基本方程式として、電気的にはポアソン方程式と電流連続方程式、光に関してはマクスウェル方程式、両者を結ぶものとしてレート方程式が用いられている。これらをセルフコンシステントに解いて電流分布やレーザー光分布を求め、デバイス特性を得る。解析例として、埋込みヘテロ接合レーザーの断面における高温 (85°C) での電流分布を図 1 に示す。中央の活



(a) 0mW



(b) 2.2mW

図 1 埋込みヘテロ接合レーザーの断面における電流分布 (温度 85°C)、図中の数字は光出力

性領域部分以外は埋込層に形成されている pnpn 接合で電流がブロックされているはずであるが、光出力を大きくするとかなり漏れている様子が明らかである。この構造で高温での光出力-電流特性を求めると、電流の漏れによる飽和により最大光出力が制限されることがわかる。これを改善するための各層のドーピングや厚みなどの最適値がシミュレーションにより得られる。

### 3. 雪崩増倍型フォトダイオード (APD) のシミュレーション

受光素子では、APD の一次元のモンテカルロシミュレーションが報告されている。APD では逆バイアスによる高電界中で加速された電子、あるいは正孔が衝突電離によりキャリア数の増倍を生ずるので、入射したフォトンの数よりキャリアの数の方が大きくなり、高感度が得られる。最近増倍層をバンドギャップの異なる薄膜を積層した超格子構造にして、ヘテロ障壁のエネルギ差により電子のみを増倍し、高速化を図った超格子 APD の研究が活発化している。モンテカルロシミュレーションを用いると超格子増倍層中の衝突電離の様子をシミュレートできる<sup>6,7)</sup>。超格子の導入により電子のイオン化率が正孔よりも大きくなることが明らかとなり、イオン化率比の値も求められる。これにより超格子構造の最適設計が可能となる。

### 4. 光デバイス CAD の課題

以上述べたように、現在単体の光デバイスシミュレーションがいくつか報告されている段階である。今後設計ツールとして本格的に光デバイス CAD を開発する上では次のような課題がある。

#### 1) 物理定数の導出

光デバイスでは、特に混晶の化合物半導体を頻繁に用いるが、このような材料の物理定数、例えば有効質量やバンドアライメントなどが明らかでないことが多く、研究の進展が望まれる。

#### 2) 量子効果の組み込み

最近の光デバイスでは量子井戸構造や超格子構造など

何らかの量子効果を必ず含んでおり、量子効果をシミュレーションに取り込むことは不可決な課題である。

#### 3) 新原理/構造の取込み

光デバイスシミュレータでは、最近研究が活発化している歪量子井戸構造や自然放出光制御など研究開発の最新成果を組み込んでシミュレータ自身を高性能化していく必要があり、またそれができるとようなアーキテクチャが望ましい。

情報処理分野で重要である光デバイスアレイなどの集積化光デバイスについてのシミュレーションの報告例は未だない。アレイに特有な問題として、電氣的、熱的、光学的なクロストークが考えられるが、これらも今後の課題として残されている。

## 5. む す び

以上、光デバイスの設計技術、特に計算機支援設計ツールとしてのデバイスシミュレータについて述べた。今後情報処理分野への光技術の導入を推進するためにも設計技術のさらなる進展が望まれる。

## 文 献

- 1) 大歳 創, 山口 憲, 金井実代, 宇田 毅, 村山良昌, 茅根直樹: “半導体レーザの2次元デバイスシミュレータ”, 第46回応用物理講演会, 4a-N-8 (1985).
- 2) 波多腰玄一, 倉田 衛, 茂木直人: “2次元デバイスシミュレータによる半導体レーザの横モード特性の解析”, 第34回応用物理連合講演会, 29p-ZH-12 (1987).
- 3) 麻多 進, 加藤芳健, 菅生繁男, 笠原健一, 熊代成孝: “高抵抗 InP 埋込レーザ電気特性の計算機シミュレーション”, 同上, 29p-ZH-11 (1987).
- 4) S. Seki, M. Tomizawa, K. Yokoyama and A. Yoshii: “Two-dimensional, static and dynamic device simulation of laser diodes,” Tech. Dig., IEDM, 323(1988).
- 5) 山中孝之, 関 俊司, 横山清行: “DFB レーザの3次元シミュレーション”, 第51回応用物理講演会, 26p-R-12 (1990).
- 6) F. Osaka, T. Mikawa and O. Wada: “Electron and hole impact ionization rates in InGaAs superlattice,” IEEE J. Quantum Electron., **QE-22** (1986) 1986.
- 7) 渡辺 功, 鳥飼俊敬: “モンテカルロ法による InAlAs/InGaAs 超格子の衝突イオン化率”, 電子情報通信学会技術報告, OQE90-12 (1990) p. 67.

(1993年4月2日受理)