

# 3次元半導体レーザーシミュレーター-PICS3D

## < 概要 >

**P I C S 3 D** Photonic Integrated Circuit Simulator in 3D) は、半導体レーザーダイオードと光デバイスのための最先端3次元シミュレーターです。このソフトウェアの基本的な用途はエッジ型、面発光型レーザーの3次元シミュレーションです。また、P I C S 3 D は発光素子に付随するいくつかのコンポーネントについてのモデルを取り扱えるように拡張がなされています。P I C S 3 D は L A S T I P の物理モデルを2次元から3次元に拡張し、発展させた高度なシミュレーションソフトウェアです。

## < 基本機能 >

P I C S 3 D はエッジ型レーザーの任意の  $x y$  - 面について L A S T I P と同様の計算データを出力することができます。さらに P I C S 3 D は以下のような種類のデータを出力することができます。

- ウェーブガイド・グレーティングの結合係数（1次、2次のグレーティング）
- 縦方向のキャリア密度分布、主・副縦モードについての光学利得と光強度
- 2次グレーティング D F B レーザーについての表面放出モード分布の計算
- 異なる縦モードに対する出力と周波数変化
- サイドモード比、線幅、線幅と出力の積、有効、2次調和歪み、表面放出出力（2次グレーティング D F B ）
- 異なるレーザー面と任意のバイアス条件でのモード出力スペクトル
- 異なるバイアス条件と時間におけるモード出力スペクトル
- 任意のバイアス条件における A M / F M 微小信号変調応答、F M / R I N ノイズスペクトル
- 2次元調和歪みスペクトル

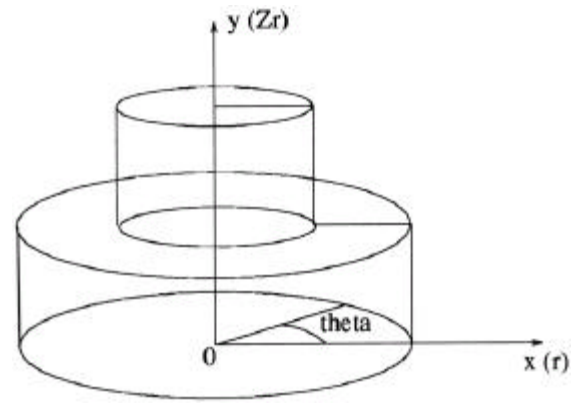
## < オプション >

### 熱 (Thermal) オプション

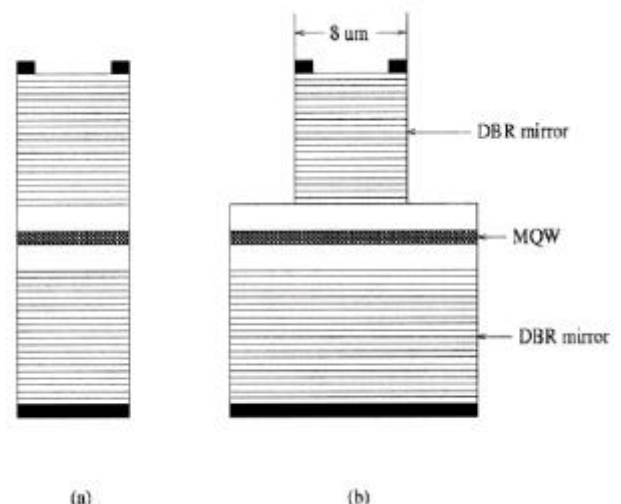
このオプションでは、熱を考慮して計算します。電極に境界条件（温度や、電極からデバイスの外へ出る熱量等）を設定します。熱源としては、電流・バンド間吸収・損失によるジュール熱、再結合・トムソン・ペルチエ効果による熱を考慮します。あらかじめ温度依存性のある物性値を持つ物質を設定し、デバイス内の温度勾配に準じた計算を行います。

## 面発光半導体レーザーオプション (VCSEL Option)

このオプションを用いることで、V C S E L のシミュレーションを行うことができます。現在このオプションで計算できる V C S E L の構造は軸対象なものに限られます。当社の V C S E L モデルでは曲座標形式を用い縦方向と横方向にモードを分離し、E E I M 法などのモジュールとの連携により V C S E L のシミュレーションを行います。



*Schematic of the coordinate system  
used for the VCSEL model*



*Two VCSEL structures for simulation.*

*Devices consist of GaAs/AlGaAs material with  
10 quantum wells of 100 A, emitting at 0.84 um*

### 拡張型等価屈折率法(EIIM)オプション

標準的な等価屈折率法では、すべての境界におけるモードは0、又は指数関数的に減衰するものと仮定されるため、放射モードを取り扱うことができません。EIIMオプションを使うと、放射モードを閉じ込めモードと同様に取り扱うことができます。

### BPM(Beam Propagation Method)オプション

テーパ構造のように、縦方向への光導波路の形状変化が大きい場合、通常の方法では縦・横成分への波動方程式の分離は良い結果を与えません。BPMオプションは、このようなケースに対応するために3次元高速フーリエ変換BPM法を用いるオプションです。

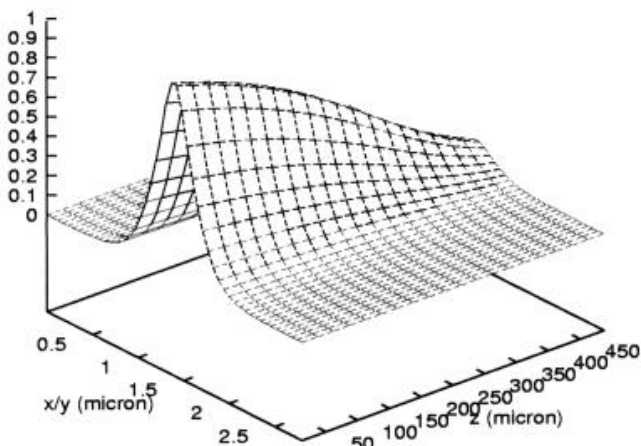
### 自己無撞着多重量子井戸オプション (Self-Consistent MQW/Piezo Option)

このオプションは、量子井戸層に強い電界がかかっている場合(ピエゾ効果等)、キャリアの波動関数(シュレーディンガーの波動方程式)を計算する際にその効果を考慮します。また、シュタルク効果も考慮されます。多重量子井戸の場合、ベースで解くと量子井戸1つ1つに対する波動関数を解きます。

### 3次元増幅器オプション (Amplifier Option)

半導体光増幅器(SOA)のシミュレーションのためのオプションです。このオプションは非常に容易に利用できるように設計されているため、従来の半導体レーザーのシミュレーション設定をほとんど変更する必要はありません。

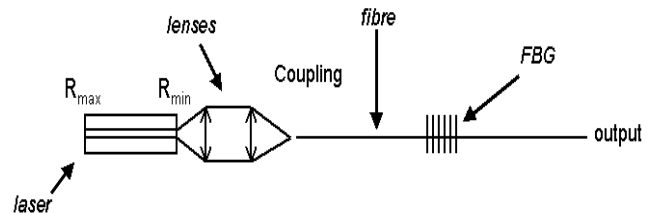
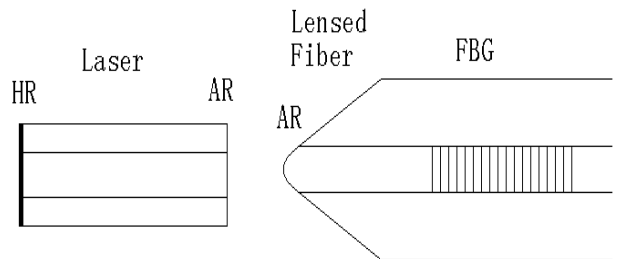
Left Wave Intensity (a.u.)



Optical wave being amplified

### ファイバー/外部キャビティ - オプション (Fiber/External-Cavity Option)

このオプションを使用することで、ファイバーグレーティングレーザー(FGL)のシミュレーションが可能になります。本オプションのFGLモデルでは、半導体光増幅器(SOA)とファイバー・ブラッグ・グレーティング間の空気間隙とデバイス結合時のパワーロスを正確に取り扱います。PICS3Dと組み合わせて使用することにより、光・電氣的諸特性に加えモードホッピングやパワーロス等の問題についても解析することが出来ます。



Schematics of a couple of external cavity fiber-grating lasers treated by PICS3D

### ベクトル波オプション (Vectorial Wave Option)

当社の半導体レーザーシミュレーターでは通常、スカラー形式の波動方程式を用いて縦・横の光学モードを解きますが、これはデバイス長が波長に比べて大きく、屈折率の閉じ込めがそれほど強くない場合に正確な結果を与えます。ベクトル波オプションは、このような条件が成り立たないようなケース(偏光方向の屈折率閉じ込めが強い場合)に有用なオプションです。

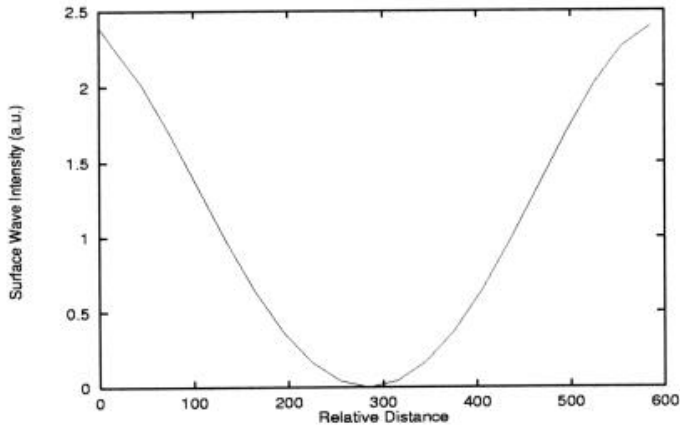
### 複合多重量子井戸(Complex MQW)オプション

このオプションは、量子井戸層を定義する際、量子井戸層に接する2つの層(バリアー層)の物質が異なる場合に必要です。

## 2次グレーティングオプション

(2nd Order Grating Option)

このオプションでは、回折格子の周期が波長と同じような構造を持つDFBレーザーのシミュレーションを可能にします。



Surface emitting wave intensity profile  
in a 2<sup>nd</sup> order grating DFB laser

## 量子トンネル効果オプション

(Quantum Tunneling Option)

高レベルにドーピングされたヘテロ接合部や、ショットキー接点における電流の量子トンネル効果は非常に重要な電流輸送メカニズムです。また、量子トンネル効果は共鳴型トンネルダイオード(RTD)においても無視できません。このオプションでは、これらのトンネル効果を考慮することが出来ます。

## < 3次元モデル >

- 半導体レーザーの縦、横方向の3次元形状は、その発光素子としての動作に大きな影響を与えます。横方向の形状は光学利得、自然・誘導再結合といった重要な機構に影響し、縦方向の形状は自然放出の拡大率に寄与し、デバイスの放射に関する性質を決定します。
- 縦または横方向のみのシミュレーションソフトウェアには制限が生じます。
- VCSEL, DFB, DBR レーザーでは縦方向の効果が重要な問題になります。
- PIC3Dは3次元空間の計算と同様に、時間発展とスペクトル分布を計算することができます。横方向の物理モデルはLASTIPにおいて用いられているものと同じなので、ここでは縦方向の取り扱いだけについて説明します。
- 縦モードの解法には簡易遷移行列法と複素グリーン関数法を用います。

- 遷移行列法では、キャビティの縦方向をいくつかの小領域に分割し、領域ごとに波を伝播させていきます。複素グリーン関数法は複雑な解析方法で多重縦モードの光出力を正確に解きます。結合モード理論と多層膜光学理論により、DFB, DBR, VCSELのような回折格子を含むレーザーダイオードを計算する事ができます。
- これらの理論的手法により、多モードのレーザーダイオードについての幅広い領域での応答反応を計算することができます。

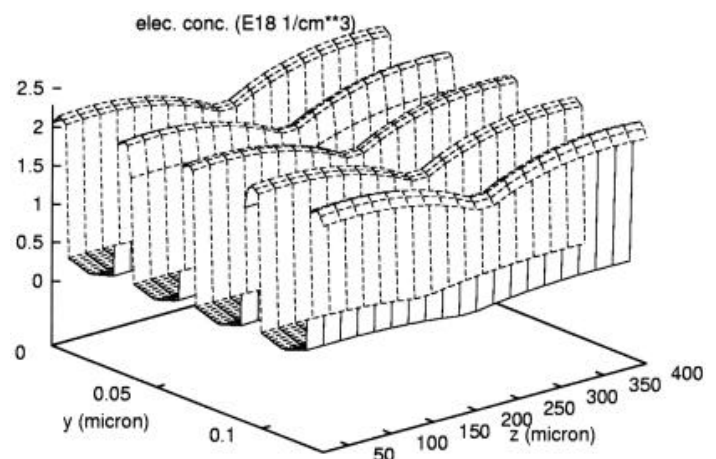
## < 3次元シミュレーション新技術 >

- 3次元レーザーダイオードの数値シミュレーションの計算スピードと効率を向上させる為に新しい技術を創りだしました。
- 当社のシミュレーション技術では、3Dシミュレーションを2Dと1Dz(z方向)の組合せに分けて処理を行います。2Dと1Dzモジュールは相補的な関係になっており、3Dシミュレーションでは同等な重要性を担っています。
- 3次元デバイスはz方向に2Dのスライスに分割されます。
- 1Dz(z方向)モジュールは縦成分の計算を行い、各2Dスライスへ情報を渡します。2Dモジュールは各2Dスライス内のxy平面での計算を行います。このような処理が各バイアスステップで行われます。

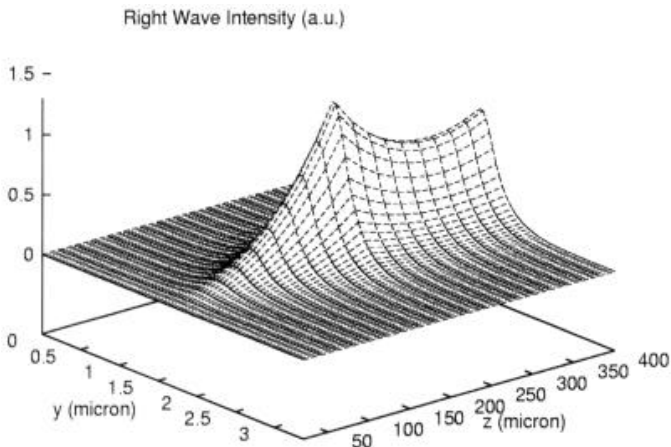
## < 計算例 >

5つの量子井戸を持つ1/4位相シフト

DFBレーザーにおけるyz面での電子密度分布



1 / 4 位相シフト DFB レーザーにおける  
y z 面での右方向へ進む光の強度分布



以上のスクリーンショットは半導体レーザーの設計における P I C S 3 D の優れた機能を示すいくつかの例です。P I C S 3 D の全ての機能をお試し頂ける無料の試用版が当社のホームページからダウンロードできます。詳細は当社ホームページにアクセスしてください。P I C S 3 D のさらに詳しい内容につきましては、P D F 形式のパンフレットをご覧ください。

### < 動作環境 >

??????? XP/2000/NT/Me/9x

シミュレーションの実行時間はハードウェアの構成によります。最低限の構成としては、P C 又はワークステーションの動作周波数が 2 0 0 M H z 以上、メモリ搭載量が 6 4 M b、スワップ容量が 2 5 6 M b です。以下の例は計算に要する時間の目安です。

- 3 0 分: エッジ発振型レーザーについての y z 方向のみ ( x 方向は一樣な構造 ) の計算
- 1 時間: 簡単な構造の V C S E L で、熱伝導が無い場合
- 3 時間: 伝導を含めた V C S E L の完全なシミュレーション。歪みの入った多重量子井戸エッジ発振型レーザーの 3 D シミュレーション

\* 本カタログの内容は予告なく変更される場合があります。予めご了承ください。

### < お問い合わせ >

当社製品に関する詳細につきましては、下記まで、お気軽にお問い合わせ下さい。

千葉市中央区新田町 33-1

ベルファースト 4F

T E L : 0 4 3 - 2 4 1 - 2 3 8 1

F A X : 0 4 3 - 2 4 1 - 2 3 8 2

ホームページ: [www.crosslight.jp](http://www.crosslight.jp)

E メール: [info@crosslight.jp](mailto:info@crosslight.jp)

世界で認められたプロフェッショナル  
半導体光デバイスシミュレーター

**CROSSLIGHT**

Software Inc. Japan Branch  
クロスライトソフトウェアインク日本支社

### < 受賞 >

当社主力製品の 3 次元半導体レーザーシミュレーター P I C S 3 D は初リリース以来高い評価を受けてきた 1 9 9 8 年、業界誌 Laser Focus World 「レーザーフォーカスワールド」より Commercial Technology Achievement Award 「最優秀製品技術賞」を受賞しました。

