

# 半導体レーザー・光デバイスシミュレータ から利用可能なオプション (2003年11月現在)

## 1. 熱解析オプション (Thermal Option)

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。

★ 適用パッケージ : LASTIP, APSYS, PICS3D ★

## 2. トンネル効果オプション (Quantum Tunneling Option)

高レベルにドープ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、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。

★ 適用パッケージ : LASTIP, APSYS, PICS3D ★

## 3. 複合多重量子井戸オプション (Complex MQW Option)

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。

★ 適用パッケージ : LASTIP, APSYS, PICS3D ★

## 4. 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つに対しての波動関数を解きます。各量子井戸層の間にあるバリアー層が量子効果をもつほど薄い場合、この多重量子井戸領域の全領域にわたって波動関数を解く必要がありますが、その際このオプションが必要になります。

★ 適用パッケージ : LASTIP, APSYS, PICS3D ★

## 5. 3次元増幅器オプション (3D 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。

★ 適用パッケージ : PICS3D ★

## 6. 拡張型等価屈折率法オプション

### PML (Perfectly Matched layer) / EEIM (Enhanced Effective Index Method) Option

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。EEIM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。

通常 LASTIP や PICS3D に於いては、100 ミクロンオーダーの幅を持つデバイスでも、要素数を減らすため発振領域近傍しかモデリングを行いません。その場合光学場を解く際に、横方向の光を閉じ込め為の強制的な境界条件を設定しなくてはなりません。横方向の光の漏れをきちんと見積もる際にこのオプションを使用します。このオプションは右端の境界条件、つまり X 方向の正の向きへの光の漏れに対してのみ機能します。(左右対称形のデバイスが多いため右半分しかモデリングを行いませんので、右方向への漏れだけを計算します。)

★ 適用パッケージ : LASTIP, APSYS, PICS3D ★

## 7. LED オプション (Light Emitting Diode Option)

このオプションは、LED の解析を行います。異なる方向での発光スペクトル、内部および外部発光効率、スイッチング(Turn on/off)特性などの量を計算することができます。また、これらの特性の温度依存性や、温度分布 (熱オプションと組み合わせた場合) を得ることができます。

★ 適用パッケージ : APSYS ★

## 8. LED 光線追跡オプション (LED Ray-Tracing Option)

このオプションでは、LED、太陽電池、PD の光線追跡が行えます。また、光線追跡の結果を可視化します。複雑な形状を持つLEDやエッジ効果が重要な場合にも有効なオプションです。

★ 適用パッケージ : APSYS ★

## 9. 進行波光増幅器オプション

### (Travel Wave Optical Amplifiers Option)

これは、半導体光増幅器用のオプションです。キャビティ方向への進入波の伝播を解析します。このオプションによって高速な光パルスへの半導体のピコ秒スケールの高速な応答などの特性を計算することができます。

★ 適用パッケージ : APSYS ★

## 10. 導波路モードオプション (Waveguide Modes Option)

導波路光検出器や電界吸収型光変調器 (EAM) のような受動半導体デバイスでは、半導体と導波路光モードとの相互作用を考慮する必要があります。光モード計算モジュールは、LASTIP と PICS3D では標準で付属していますが、APSYS では受動半導体デバイスを計算するためのオプションとして用意されています。このオプションを

用いることにより、導波路光モードを有限要素メッシュ上で解くことができます。導波路モードの解法として、「SOR 法」「有効屈折率法」「Arnoldi 法」が用意されており、複雑な屈折率分布を持つ導波路についての多重横モードの計算も行えるようになっていきます。

★ 適用パッケージ : APSYS ★

### 1 1. 3次元電流流れオプション (3D Current Flow Option)

このオプションは、3次元解析を行います。2次元断面を定義したプレーンをつなぎ合わせることで3次元形状モデルを定義します。

★ 適用パッケージ : APSYS, PICS3D ★

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

当社の半導体レーザシミュレータでは通常、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。

★ 適用パッケージ : LASTIP, APSYS, PICS3D ★

### 1 3. 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レーザのシミュレーションを可能にします。

★ 適用パッケージ : PICS3D ★

### 1 4. 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、ファイバークレーティングレーザ(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。

★ 適用パッケージ : LASTIP, PICS3D ★

### 1 5. 面発光半導体レーザオプション (VCSEL Option)

このオプションを用いることで、VCSEL のシミュレーションを行うことが出来ます。現在このオプションで計算できる VCSEL の構造は軸対象なものに限られます。当社の VCSEL 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 VCSEL のシミュレーションを行います。

★ 適用パッケージ : PICS3D ★

## 1 6. B P Mオプション (Beam Propagation Method Option)

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。B P M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 B P M法を用いるオプションです。

★ 適用パッケージ : PICS3D ★

## 1 7. エキシトン/多体効果オプション (Exciton / Manybody Option)

レーザ・ダイオードの活性層内に閉じ込められた電子-ホール間に働くクーロン相互作用は、光学利得や発振スペクトルに大きな影響を与えます。特にこの効果は、緑～青色波長帯域で発振する ZnCdSe や InGaN 量子井戸レーザで重要になってきます。このオプションでは、電子・ホールのプラズマによるクーロンポテンシャルの遮蔽効果が考慮され、より精密な光学利得が計算されます。また、このオプションでは、束縛された電子-ホール対によって形成されるエキシトンによる効果を取り入れられています。このことにより、エキシトン効果が重要な電界吸収型光変調器 (EAM) のシミュレーションが行えるようになります。APSYS と組み合わせた場合、EAM についてのモード毎の吸収スペクトルの変化をシミュレーションできますし、PICS3D と組み合わせた場合には、キャビティー方向の吸収とホールバーニング効果も含めた完全な EAM のシミュレーションを行うことができます。

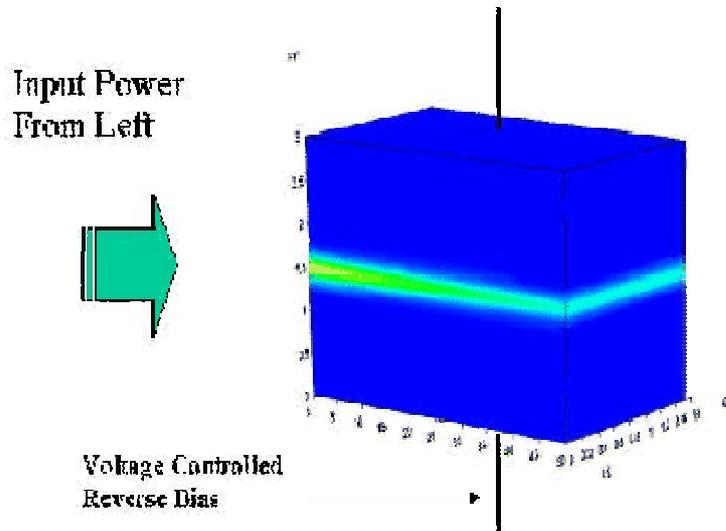
★ 適用パッケージ : LASTIP, APSYS, PICS3D ★

## 1 8. 光ポンプレーザオプション (Optically Pumped Laser Option)

入射光により半導体デバイス内に生成されたキャリアが反転分布を取ることでレーザ発振を起こします。本オプションでは、正確な光学利得モデルを用いることで、このような光ポンプ作用によるレーザ発振に関する特性を計算することが出来ます。

★ 適用パッケージ : LASTIP, PICS3D ★

## 19. 光吸収導波路オプション Photo-Absorbing Waveguide (EAM / PD) Option



PICS3D で光吸収導波路オプションを用いたシミュレーション概略図

導波路光検出器（PD）や電界吸収型光変調器（EAM）では、導波路が外部からの光によって励起され、光が導波路内を進むときに吸収が起こります。このようなデバイスのことを光吸収同波路（PAWG）と呼びます。PICS3D を使った PAWG のシミュレーションを概略図に示します。PAWG のシミュレーションは半導体光増幅器（SOA）のものと似ていますが、光学利得ではなく光学吸収が計算されます。また、プログラムの制御の面では大きく異なり、SOA では電流制御が用いられるのに対し、PAWG では電圧制御が用いられます。

★ 適用パッケージ : PICS3D ★