



## 光デバイスの設計と解析

### はじめに

COMSOL Multiphysicsは、無制限なマルチフィジックス構成を1D、2D、3Dで連成場シミュレーション/モデリングするための方程式ベース有限要素法解析ソフトウェアです。

COMSOL Multiphysicsは電磁場に対するマクスウェルの方程式を解き、モデルには熱応力や他の効果を含むことができます。柔軟な方程式ベースのアプローチによって、COMSOL Multiphysicsの光デバイスモデルはあらゆる異なるタイプの材料を考慮することが可能です。

- 不均一媒質
- 異方性媒質
- 分散性媒質
- 損失性媒質

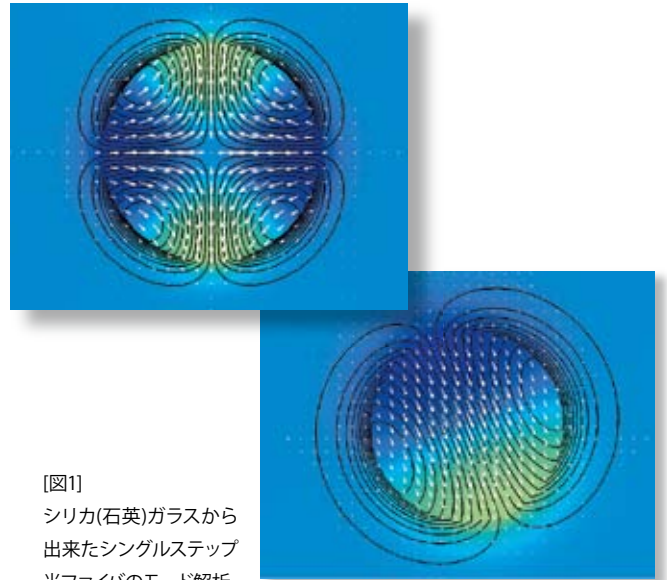
### COMSOL Multiphysics環境

統合 GUI 環境でマルチフィジックスモデルの構築、計算、後処理を対話的に行うことができます。物理現象、方程式、境界条件は直接GUIで定義します。ユーザーは、支配偏微分方程式 (PDE) に完全アクセスできるので、方程式、材料特性、マルチフィジックス連成を柔軟でオープンな方法で検討できます。

COMSOL Multiphysicsの方程式ベースモデリングと物理学アプリケーションのための汎用モデリング環境に加え、電磁気学モジュールでは、フォトニクスや電磁場シミュレーション用に特化したアプリケーションインタフェース、モデル、要素が提供されます。

#### 主な特長

- 波動伝播とモード分析用の定義済みアプリケーションインタフェース
- 不均質断面を持つ光ファイバと導波管のモード分析用完全ベクトルハイブリッド定式化
- 損失性または利得性の異方性媒質をサポート
- 線形/非線形/時間依存のPDE連成システムを解決
- 適応メッシュ精緻化
- MATLAB・Simulinkと互換



【図1】

シリカ(石英)ガラスから出来たシングルステップ光ファイバのモード解析。

完全ベクトルハイブリッドモード式はHE11モード(上)、HE21モード(下)を固有近似することなく計算することができます。

カラープロットと等高線プロットは、軸の界成分とHzをそれぞれ示しています。矢印は面内電場の方向を示します。

- 2DでのTE/TM/HE波シミュレーション用の面内/軸対称/垂直波アプリケーション
- ベクトル要素を用いた完全な3D電磁波シミュレーション
- 固有モード/固有周波数の定式化
- 電磁波用の定義済み構成関係と境界条件

### 多様なアプリケーション

COMSOL Multiphysics によって、様々なタイプの光学装置、光電子装置の調査とシミュレーションが可能です。シミュレーションは電子透過や光学、又は光弾性効果のような熱や構造効果を含みます。伝熱や平面ひずみ構造力学、または他の物理現象やPDEアプリケーションを光波モデルに加えることができます。それらはCOMSOL MultiphysicsのGUIに式の連成と依存性、材料モデルを直接入力して定義することができます。パラメトリックソルバと柔軟な後処理ツールを使えば、周波数スイープを行いフォトニック IC (PIC) の特性計算ができます。他のアプリケーションには、面発光半導体レーザー (VCSEL) や量子力学等があります。

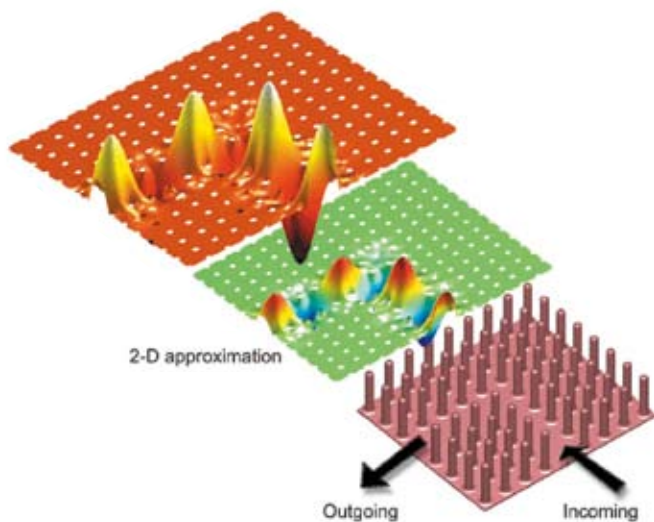
## 光ファイバのモード解析

図1はシングルモードのステップインデックスファイバのモデルです。内核は屈折率1.4457の高純度石英ガラスで構成されています。クラッドはドーピングされており、屈折率は1.4378です。これらの値は自由空間の波長が  $1.55 \mu\text{m}$  のとき有効です。クラッドの半径は十分な大きさにしたので、外部境界での閉じ込めモードの界はゼロとなります。COMSOL Multiphysics は、バンドギャップ材料(中空繊維)を含む任意の導波管断面に対するモードインデックスを計算できます。

計算されたモードに対する電磁場分布だけでなく、クラッドへのエネルギー漏出も調査可能です。

## フォトニック結晶内の光伝播

フォトニック結晶の研究には、異なる屈折率の材料による交互層の周期構造を持つ電磁モデリングが含まれます。構造と規模の種類により、禁止波長のフォトニックバンドギャップが得られます。結晶の一部領域内の周期的構造を壊すことにより、導波管を作ることができます。そのような導波管は、大きな放射損失なく非常に鋭角な曲げを得ることが可能なため、光回路の集積度を数桁の単位で上げることができます。

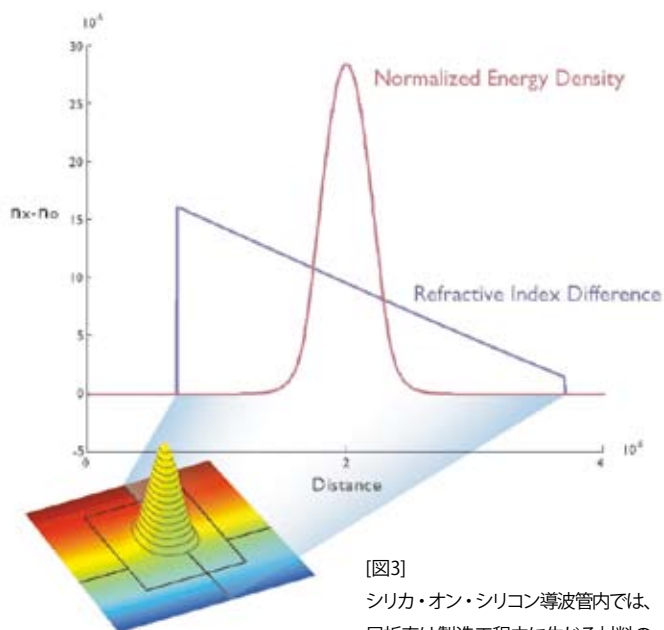


[図2]

フォトニック結晶内赤外線領域のTE波モデリング。フォトニック結晶はシリコン柱の行列で構成されています。結晶構造内のシリコン柱を数本除くことで要求する波長の導波管を作成します。導波管形状のアウトラインに沿って光は伝播することができます。

## シリカ・オン・シリコン導波管内の光弾性効果

シリカ(石英:  $\text{SiO}_2$ )内の平面光導波管は、波長経路アプリケーションに使用できる可能性が十分あります。この種の導波管の主な問題点は複屈折で、これが基本モードを分割し、パルス幅を広げます。複屈折の原因の1つは、導波管構造をシリコン(Si)ウエハーに蒸着させる製造工程中に生じる熱応力です。高温(約 $1000^\circ\text{C}$ )で焼鈍した後、シリカとシリコンレイヤー間の熱膨張率の不一致により動作温度(普通、室温の $20^\circ\text{C}$ )では熱応力が生じます。応力は屈折率に影響し、材料は複屈折となります。設計の目標は材料と製造プロセスを最適化して複屈折効果を最小にすることです。COMSOL Multiphysics は基本モードの形状と有効性指標を調べるために、伝熱、構造解析、光学解析を完全に連成することができます。



[図3]

シリカ・オン・シリコン導波管内では、屈折率は製造工程中に生じる材料の熱膨張による応力に影響されます。

## フォトニック/光電子装置のシミュレーション

COMSOL Multiphysics と電磁気学モジュールは、フォトニック/光電子装置のモデリング/解析/設計のための完全な環境を提供します。光・電子特性だけでなく、連成場シミュレーションには熱や構造等の効果を含めることができます。これによりCOMSOL Multiphysicsはフォトニクスアプリケーション用の理想的なシミュレーションツールとなります。