

3次元周期構造を持つLEDのシミュレーション

使用したツール：FullWAVE、LEDユーティリティ

要約

LEDの使用は、照明、表示ランプはもちろん、携帯電話、タブレットPC、TVのディスプレイなどの幅広いアプリケーションで常識となっています。LEDは、相対的に高効率で、エネルギー消費量が少なく、高い信頼性、鮮やかな色彩、そしてより小さなサイズという特徴を持ち、前述のアプリケーションに必須な要素を全て満たしています。

LEDは本質的にインコヒーレントなので、数値シミュレーションに適さない点もあります。殆どの伝統的なシミュレーション技術は、マクスウェル方程式を直接解くか、あるいは波動方程式のようにそれから導き出された式に基づいているため、インコヒーレント性を制御することは容易ではありません。さらに、屈折率の境界面が多数ある、新しい材料や構造の採用、分散、表面の荒さ、そして効率向上のための回折格子の採用等の要因によって、LEDの光学設計は大変複雑になっています。

この例題では、窒化ガリウムをベースにした3次元のLED構造(図1を参照)のシミュレーションを示しますが、その原理は参考文献[1]に基づいています。その構造の表面は、六方格子のフォトニック結晶(フォトニック結晶を上面にエッチング)です。

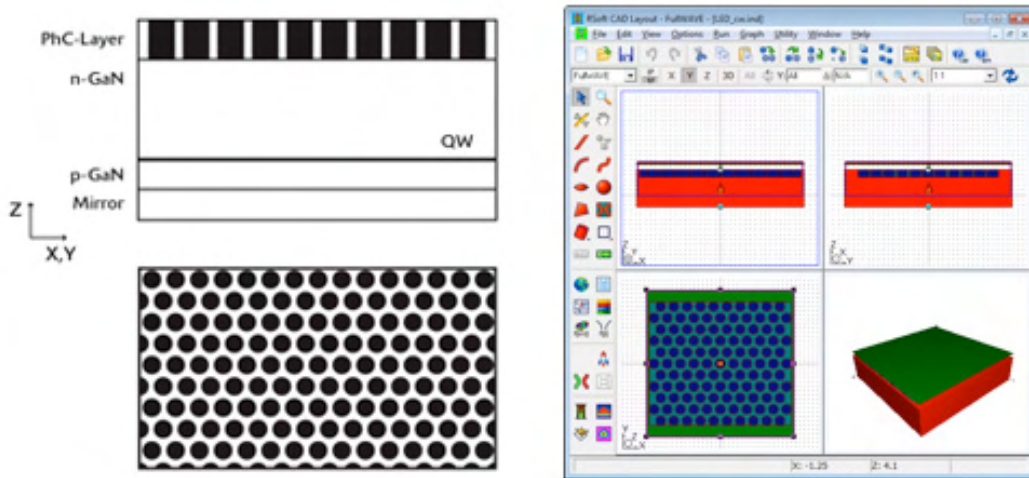


図1:周期構造付きLED構造の図面:

a) 横断面、b) フォトニック結晶(PhC)、c) RSoft CADで描かれた構造

図1cで表示した構造は、ダイナミックにサイズを変更できる配列を用いて作成したフォトニック結晶のオブジェクトおよび背面にある鏡(PEC境界条件による)で構成され、窒化ガリウムの材料特性についてはツールに組み込まれている材料ライブラリを使用しています。

最初の2つは、単一波長での連続波による励起を用いたシミュレーションで、1つはフォトニック結晶あり(PhC)、もう1つはフォトニック結晶なし(Flat)です。遠方界の計算結果を図2に示します。

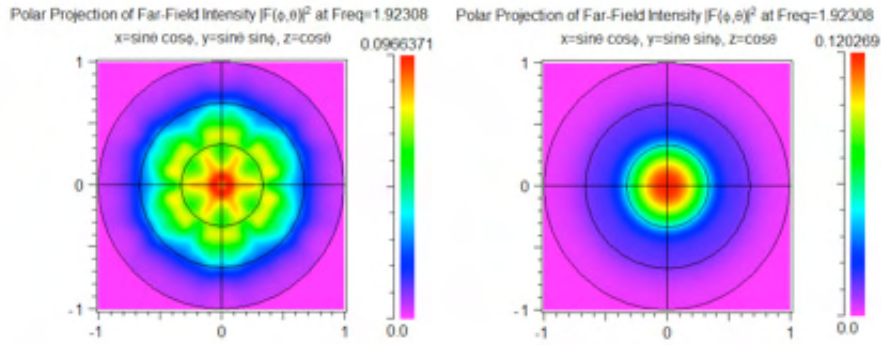


図 2: 連続波による解析で計算された遠方界、
 a) フォトニック結晶あり(PhC)、b) フォトニック結晶なし(Flat)

次に、ある程度の波長範囲を含むパルス励起を用いた2つのシミュレーションを実行します。遠方界の計算結果を図 3 に、取り出し効率の結果を図 4 にそれぞれ示します。

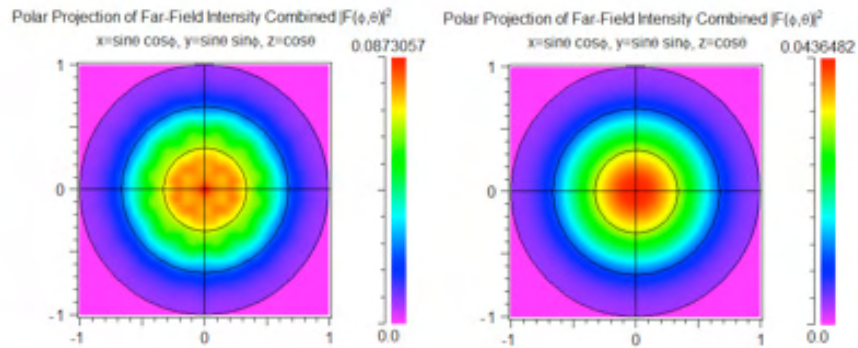


図 3: パルスによる解析で計算した後に合成された遠方界、
 a) フォトニック結晶あり(PhC)、b) フォトニック結晶なし(Flat)

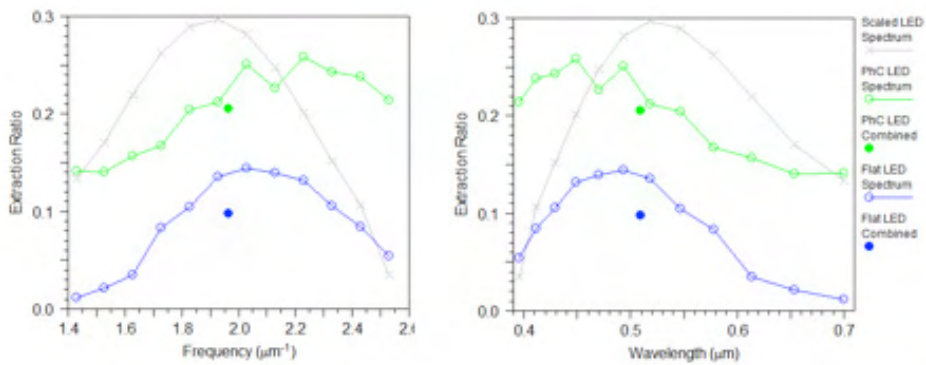


図 4: パルスによる解析で得られたフォトニック結晶あり(PhC)と
 フォトニック結晶なし(Flat)の場合の取り出し効率のスペクトル、
 a) 対周波数特性、b) 対波長特性

図 5 に示すように、特定の周波数に対する遠方界プロファイルを見ることも可能です。

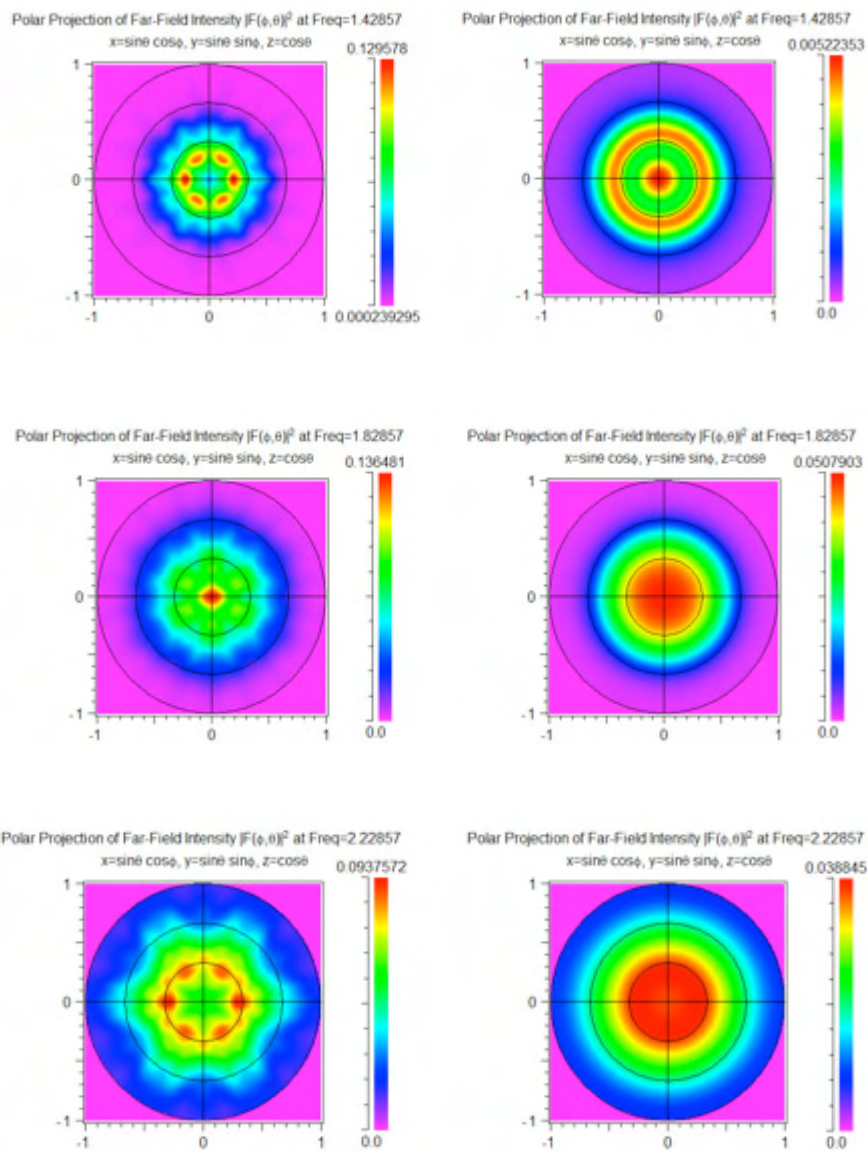


図 5: パルスによる解析で得られた 3 つの周波数に対する遠方界パターン、左側のプロットがフォトニック結晶あり(PhC)で、右側がフォトニック結晶なし(Flat)

参考文献：

[1] Ch. Wiesmann, K. Bergenek, N. Linder, and U. T. Schwarz, **Analysis of the emission characteristics of photonic crystal LEDs**, Proc. SPIE 6989, Light Emission I, 69890L (2008).