

FDTD 法によるスペクトル広がりを考慮した球面波源シミュレーション

Spherical Wave Source Simulation Considering Spectral Line Broadening by FDTD Method

龍尾大輔¹⁾

指導教員 本田徹^{1,2)}

1) 工学院大学大学院 工学研究科 電気・電子工学専攻 フォトニクス研究室

2) 工学院大学 先進工学部 応用物理学科

キーワード：FDTD 法, 電磁場解析, micro-LED

1. 背景

数値電磁界解析のための Finite Difference Time Domain 法(有限差分時間領域法、以下 FDTD 法)は 1966 年に K.S.Yee により提案された。その後、高性能コンピュータの普及により、1990 年代初頭から本格的に応用され始めた。当初は計算コストの問題からアンテナ解析など長い波長帯域が解析対象であったが、更なるコンピュータの高性能化により、現在はナノオーダーの帯域においても解析が可能になった。

2次元の TM-FDTD の更新式を(1)に示す。このマクスウェルの微分方程式を差分化することで隣り合うセルの時間発展を求める。

$$E_z^n = \frac{1 - \frac{\sigma \Delta t}{2\epsilon}}{1 + \frac{\sigma \Delta t}{2\epsilon}} E_z^{n-1} + \frac{\Delta t}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_x^{n-\frac{1}{2}}}{\partial x} - \frac{\partial H_y^{n-\frac{1}{2}}}{\partial y} \right)$$

$$H_x^{n+\frac{1}{2}} = H_x^{n-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\mu} \times \frac{\partial E_z^n}{\partial y} \quad (1)$$

$$H_y^{n+\frac{1}{2}} = H_y^{n-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\mu} \times \frac{\partial E_z^n}{\partial x}$$

通常、FDTD 法によるアンテナ解析では波源に平面波を用いる。これは解析領域が波源から十分に離れていることを仮定しており、ナノスケールの構造体においては、平面波近似できる実効的な距離を持たないため波源を球面波として扱う必要がある。

そこで本研究では、micro-LED における発光を想定し、2次元 TM-FDTD 法により、波長広がりを考慮した球面波源シミュレーションを行った。

2. 解析モデル及び解析手法

解析モデルは micro-LED の発光層を想定し、y 方向に 200nm, x 方向に 18nm の解析領域を与えた(図 1)。また、吸収境界条件は Berenger の PML を採用した。

発光層の中心から z 方向に正弦パルス波の電界を与え、 $t=100\Delta t$ まで解析を行った。

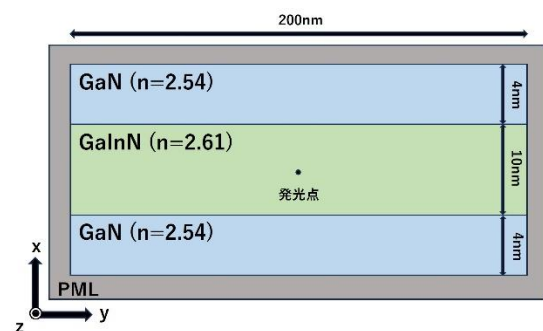


図 1. 解析モデル

表 1. 解析パラメータ

セルサイズ	1 [nm]
時間ステップ	2.357 [as]
中心波長	460 [nm]
半値幅	10, 20, 30, 40, 50, 60

球面波発光のスペクトル広がりをもドブプレー効果によるものとし、ガウス関数でフィッティングした。このとき、中心波長を460nm、サンプリング幅を1nmとし、発光ピークの半値幅(FWHM)を10nmから60nmまで10nm間隔で変化させた(図2)。その後、球面波源と平面波源のそれぞれについて発光層内のポインティングベクトルの時間平均を計算し、スペクトル広がりによる電磁波のエネルギーを比較した。

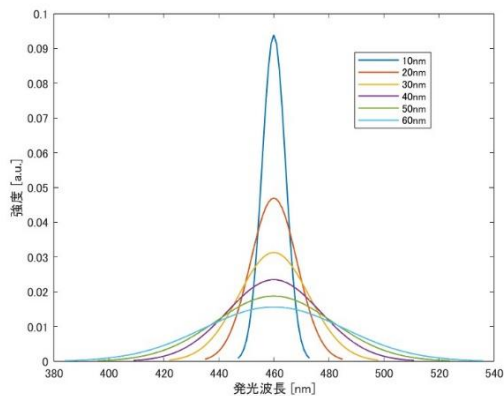


図2. ガウス関数でフィッティングした発光スペクトル

3. 解析結果及び考察

球面波の電磁波のエネルギーの発光スペクトルの半値幅依存性を図3に示す。ここで縦軸は平面波の電磁波のエネルギーで規格化している。また、x方向とy方向のエネルギーは殆ど一致しており誤差率は1%未満であった。

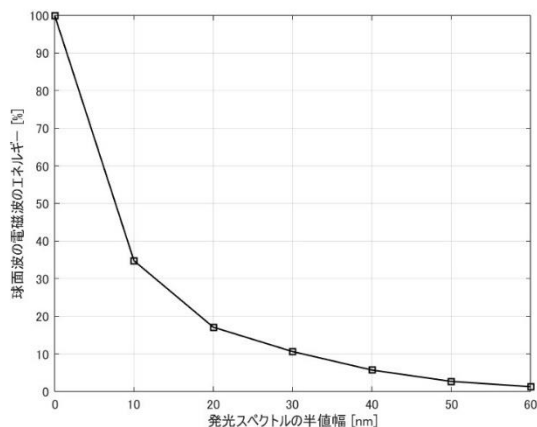


図3. 球面波の電磁波のエネルギーの発光スペクトルの半値幅依存性

半値幅の増加に伴い、発光層内の電磁波のエネルギーが指数関数的に減少していることが分かった。これは位相の異なる波が互いに干渉しあうことでエネルギー損失が生じていると考えられる。

また、現状の青色LED素子の発光スペクトルは20nm以上の半値幅持つことから、平面波源のシミュレーションと比較して80%程度損失が生じていることが分かった。

4. 結論

本研究では、FDTD法を用いて、球面波源による電磁場解析を行った。解析の結果、半値幅の増加に伴い発光層内の電磁波のエネルギーが平面波と比べて指数関数的に減少していることを確認した。

今後は光取り出しを想定した、より大きな解析領域に対してスペクトル広がりの影響を検証する必要がある。

5. 参考文献

- [1] 宇野 亨, 「FDTD法による電磁界およびアンテナ解析」, コロナ社, 1998.
- [2] J.-P. Berenger, "A Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Waves," *Journal of Computational Physics*, 114, 1, pp.185-200, 1994.
- [3] K.S.Yee, "Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 14, 4, pp.302-207, 1996.