

ナノ凹凸構造による光取り出し効率シミュレーション

株式会社 科学技術研究所 科学技術部 (<https://www.kagiken.co.jp>)

1. 解析概要 LEDの発光効率改善には内部量子効率、光の取り出し効率、その他基板等の改善の3つが挙げられている [1]。光取り出し効率を向上させる技術にナノ構造を表面に付与する手法がある。本報告書ではナノ凹凸構造付与する場合と付与しない場合をFDTD法によりシミュレートして比較し、ナノ凹凸構造による光取り出し効率の改善効果を報告する。

2. 解析条件

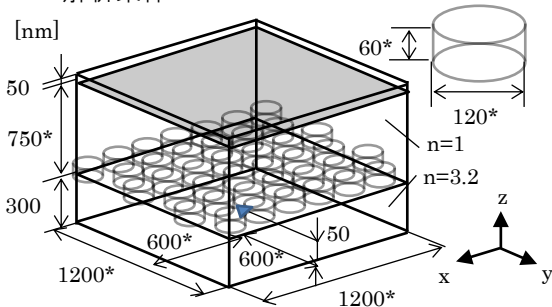


Fig.1 Simulation model

解析モデルを Fig.1 に示す。境界条件は全て吸収境界 PML を適用した。誘電体表面から 1 波長以上離れた位置で、x、y 方向解析領域と同じ大きさの面を+z 方向に通過するポインティングベクトル(以下 S_z)の 1 波長積分値総和を求め、以下の式から取り出し効率の改善率を導出した。

$$\text{改善率} = \frac{\text{ナノ凹凸構造ありの } \Sigma S_z}{\text{ナノ凹凸構造なしの } \Sigma S_z}$$

屈折率 3.2 の誘電体内に x 方向励振の点源を配置、Fig1.中*記号の数値を 1 倍、1.16 倍、1.33 倍とした場合の波長 350~750nm における光取り出し効率改善率の周波数特性を導出した。

3. 解析結果 Fig2.に波長 350~750nm における 3 形状のナノ凹凸構造による光取り出し効率の改善率を示す。各形状で改善率は最大約 1.5 倍、改善率のピーク波長は 1 倍で 500nm、1.16 倍で 600nm、1.33 倍で 750nm であった。3 形状の改善率ピーク波長におけるナノ凹凸構造断面の電界分布を Fig3~5.に示す。ナノ凹凸構造内の定在波は 3 形状で類似していることからナノ凹凸構造の形状、配置により Fig3~5.に類似した定在波となる周波数範囲で高い改善率を示すと考えられる。また、ナノ凹凸構造とピーク波長の比率の不一致は点源の位置が構造に比例していないため、点源から界面までの距離を比例させることで異なるピーク波長を示すと考えられる。

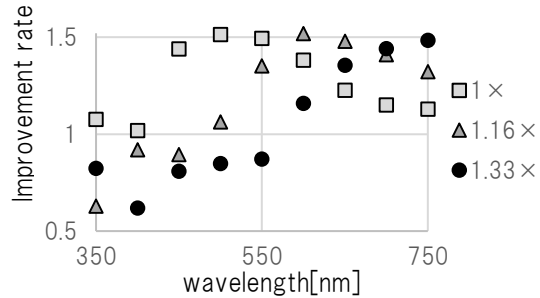


Fig.2 Improvement rate of Light extraction efficiency

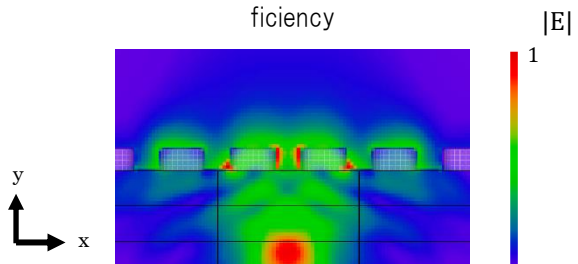


Fig.3 Electric field distribution (x1 : $\lambda=500[\text{nm}]$)

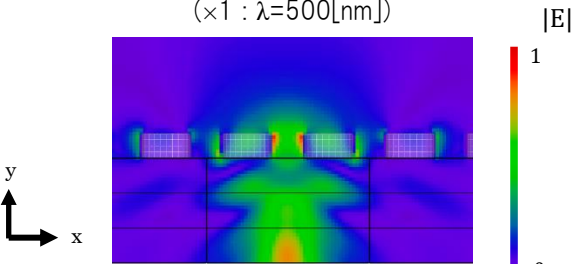


Fig.4 Electric field distribution (x1.16 : $\lambda=600[\text{nm}]$)

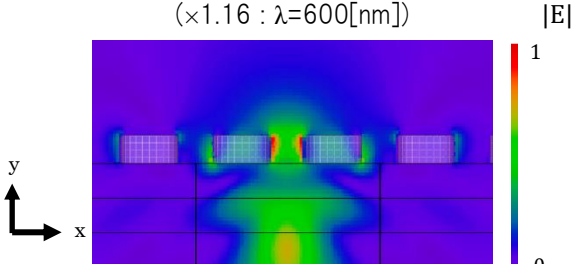


Fig.5 Electric field distribution (x1.33 : $\lambda=750[\text{nm}]$)

4. まとめ 電磁波解析ソフト KeyFDTD でナノ凹凸構造による光取り出し効率の改善率を検討した。ナノ凹凸構造により取り出し効率が最大 1.5 倍改善する点と構造、周期により改善率のピーク波長が変化する点がシミュレーションで確かめられた。

[1] 上村俊也, "LEDの発光原理と高効率化技術", 電気設備学会誌 vol.25 No.1, 2005, pp7-10