

有機 EL 素子の放射電力配分理論計算

Theoretical calculation to the power-allocations of OLEDs emission

産総研ナノ材料 〇石堂 能成, 水谷 亘

AIST-NMRI, 〇Yoshinari ISHIDO & Wataru MIZUTANI

E-mail: y-ishido@aist.go.jp

OLEDs の放射側一番外側の境界における電磁界の面内 z 方向波数スペクトラム k_z 成分に着目し全放射条件を遠方放射の条件と結びつけることで面内波数に閉じ込めの閾値を見出し、放射モードと導波（閉じ込め）モードそれぞれ電磁界の境界値により算出されるポインティング電力 P の k_z 成分を区分積分しそれらの比をとることにより OLEDs 放射電力配分の計算を試みた。両モードそれぞれの区分積分の和は素子内発光の全（皮相）電力の総（スペクトラム）和と見なせ、その各モードの割合では素子内光学定数が陽にあらわれず外部空間の光学定数も相裁されるため異なる素子間比較ができる。

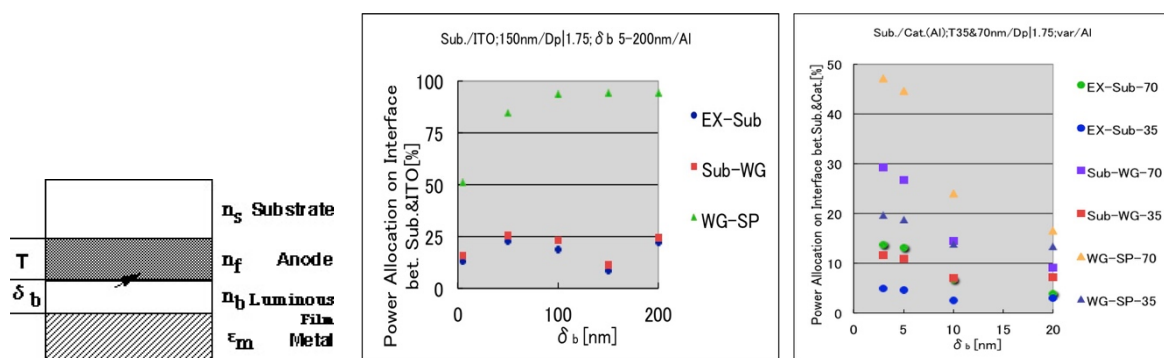


Fig.1: 4layers Bottom-Emission (BE) model.

Fig.2: Power-Allocation (PA) of BE vs. δ_b .

Fig.3: PA for Top-Emission (TE) case.

EX=extraction-mode, Sub=substrate-mode, WG=waveguide-mode, &SP=surface plasmon loss: \square Sub-WG is the allocation ratio of the radiation mode in the model: De facto light extraction efficiency (LEE, OCE).

Spec: BE OLEDs ($n_s 1.52/n_f 1.865, T 150\text{nm}/Dp/n_b 1.75, \delta_b \text{ var.}/\epsilon_m -37.8-9.9i$) @ 510nm, TE OLEDs ($n_s 1.55/\epsilon_m -5.5-0.8i, T35\&75\text{nm}/Dp/n_b 1.75, \delta_b \text{ var.}/\epsilon_m -5.5-0.8i$) @ 550nm: The orientation of Dp is random; $\{ved+(hed-s+hed-p)/2\}/2$.

図1の4層モデルにおいてその光波はマクスウェルの電磁界方程式及び各層間の境界条件で記述される。二次元座標系上では、双極子 (Dp, 図1中の黒字矢印) が面内に対して水平配向(hed)の場合、Dpと直角方向に伝搬するs偏波およびDpと同じ方向に伝搬するp偏波の二種、Dpが面に垂直なx方向に向く垂直配向(ved)の場合、p偏波のみとなり(三次元の場合[1]と同)、三者それぞれ独立に非同次スカラー波動方程式の境界値問題として解ける。無損失自由空間である第4層の横(x)方向波数 k_x が実数のとき解は放射モード、虚数のとき導波モードをあらわす。その面内z方向波数 k_z に対する閾値は $k_z = k_4 = k_0 n_4$ である。第4層に面した境界における電磁界からPベクトル $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}^*$ が計算できる(*複素共役)。境界に対する単位法線 \mathbf{u}_n 方向成分のスペクトラム積分 $\int_0^\infty \mathbf{S} \cdot \mathbf{u}_n dk_z$ が境界におけるPの全電力にあたるが、閾値 k_4 により放射モード $\int_0^{k_4}$ と導波モード $\int_{k_4}^\infty$ に分けられる。前者は有効電力であり、x軸正の向きに対して $k_z = k_4 \sin \theta$ なる θ を放射角にもつ遠方放射界に対するP成分の半球(半円)積分に変形されそれはOLEDsの発光効率測定における全光束に一致する。しかし後者は無効電力かつ外向きには速やかに指数減衰するため電磁界は第3層以下に「閉じ込められ」外部には届かない。図2&3では \square Sub-WG が両モード電力の大きさの和に対する放射モードの割合を示す。 \circ EX-Sub ($k_z = k_0$) および \triangle WG-SP ($k_z = k_0 \max\{n_f, n_b\}$) は便宜上である。BE(図2)では同じスペックによる散逸エネルギー配分 δ_b 特性[2]のhed-sと同じ正弦的変動がみられた。またTE(図3)では薄膜が薄い場合、金属陰極厚さ70nmの方が35nmよりSub-WGが2倍程度大きい、同じ金属陰極厚さの高分子ELの発光効率の実測でも定量的に矛盾しない結果が得られている。[1]Y. Ishido, J. Light & Vis. Env., **38**, 48 (2014). [2]Y. Ishido & N. Tanigaki, J. Sci. Techn. Light., **43**, 32 (2019).