

表面プラズモンの散乱確率と有機 EL 素子の発光増倍度

Scattering Probability of Surface Plasmon and Photoluminescence Enhancement of Organic Light Emitters

立命館大理工¹, 物質・材料研究機構², 石黒汰一¹, 溝口雄太¹, 米田拓也¹, 笠原健一¹, 池田直樹², 杉本喜正²Ritsumeikan Univ.¹, National Institute for Materials Science², T. Ishiguro¹, Y. Mizoguchi¹, T. Yoneda¹, K. Kasahara¹N. Ikeda², and Y. Sugimoto²

E-mail: re0036sv@ed.ritsumei.ac.jp

有機 EL 素子の発光効率是有機層に隣接する金属面に生成される表面プラズモンの影響を受ける。表面プラズモンは金属表面が完全に平坦な場合は熱となるが、実際には表面に形成された微細な凹凸によって散乱され、光として外部に取り出せる。これまで我々は表面プラズモンの散乱確率の計算を行ってきたが、測定で得られている増倍度を説明することはできていない^{1,2}。そこで、増倍度が実際にどれだけ得られているか出射光の干渉効果も考慮に入れて計算した。さらに、その値が散乱確率とどのように対応しているか調べ、表面プラズモンの生成過程について考察した。

発光増倍は Ag が有機層に隣接している Alq₃/Ag/ガラス素子と、そうでない Alq₃/ガラス/Ag 素子からの光励起発光強度を比較することで求めた。測定では 405nm の青色 LD からの励起光を Alq₃ の表面側から照射した。このような 2 種類の構造とすることで光励起の大きさはほぼ等しくできる。また Alq₃ の蛍光で裏面方向に出る光の収集効率も同じにできる。発光増倍度は Alq₃/Ag/ガラス素子からの発光量を Alq₃/ガラス/Ag 素子からのそれで割ることで求めた。Alq₃ の膜厚を 60/80nm、Ag を 150nm とした時の増倍度を図 1 に示す。図 1 では出射角度が 0°の時の測定結果を示してある。測定では蛍光の Alq₃ 層内での干渉効果を考慮に入れねばならない。そこで Alq₃ の屈折率を 1.8、ガラスは 1.5、Ag は波長依存性を考慮した数値³を用いて 2 つの構造に対して光の干渉計算を行い、それによる効果を求めた。図 1 には計算として示してある。両者を比較すると、波長 500nm で、膜厚 60nm の時の増倍度は測定では 2.3 倍、干渉計算では 1.5 倍、膜厚 80nm ではそれぞれ 1.2 倍、0.9 倍となっており、どちらも干渉効果では説明できない増倍が得られていることが分かる。表面プラズモンの散乱を利用した時の発光増倍度は $((P + (\eta - 1)P_s + (1 - P)\eta\xi)) / P$ と表せる。この式で P は発光効率、 P_s は表面プラズモンの生成確率、 η は表面プラズモンの散乱確率、 ξ は非発光成分がプラズモンになって発光する割合である。AFM で得られた Ag 表面の突起は高さが ~7nm、半値全幅は ~100nm であった。突起部をガウス形状と仮定し、散乱回数は表面プラズモンの伝搬距離から求めた。その時の散乱確率⁴は 500nm で 4% であったが、このような値では増倍度の式中の $(\eta - 1)P_s$ が正にならない。また、 $\xi < 1$ より $(1 - P)\eta\xi \ll 1$ であるため、分子が分母に比べ小さくなってしまい、実験で得られた発光増倍を説明出来ない。散乱確率の計算では 1 個の励起子から 1 つのプラズモンが生成されるとしているが、実際には励起子同士は数 nm で近接しているので、複数のプラズモンが同時に同位相で生成される可能性がある。そうであれば、 N 個の励起子から作られるプラズモンの散乱確率は N^2 倍になって 1 個当たりでみれば N 倍になる。出射角度が増加すると、増倍度の測定値は計算に比べて小さくなった。これは出射角度が増大することで干渉効果が弱まったためであると考えている。

- 1) 溝口 他, 2015 年秋季応物理学, 15a-2G-4. 2) T. Inui et al., META'15, New York City, NY, USA, P40, 2015. 3) E.D. Palik, Handbook of Optical Constants of Solids, pp. 353-357, 1985. 4) J.A. Sanchez-Gil et al, Phys. Rev. B, Vol. 60, pp. 8359-8368, 1999.

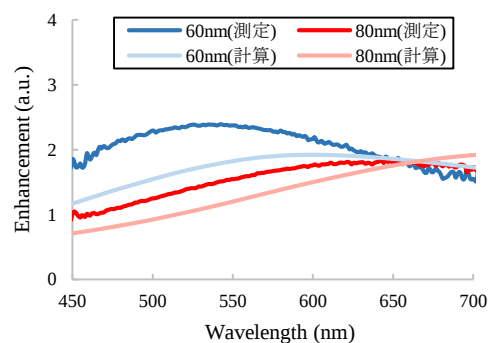


図 1 発光増倍度