有機発光ダイオードで観測される負の静電容量：Shockley-Read-Hall trap-assisted 再結合

Negative capacitance observed in organic light-emitting diodes: Shockley-Read-Hall trap-assisted recombination

○(B)伊澤 泰之[1], 永瀬 隆[1, 2], 小林 隆史[1, 2], 内藤 裕義[1, 2]
(1. 大阪府立大, 2. 大阪府立大分子エレクトロニックデバイス研)
○Y. Izawa[1], T. Nagase[1, 2], T. Kobayashi[1, 2], H. Naito[1, 2]
(1. Osaka Pref. Univ., 2. RIMED)
E-mail: yasuyuki.izawa.oe@pe.osakafu-u.ac.jp

1. はじめに　有機発光ダイオード（OLED）などの複注入素子では、負の静電容量が観測されることがある。静電容量のスペクトルにおいて、100 kHz以上の高周波ではOLEDの幾何容量が観測されるが、測定周波数を低くしていくと徐々に静電容量は小さくなり、1 kHz以下の低周波で静電容量が負となる（図１）。このような現象は1950年代から知られており、OLEDでは様々な発現機構が提案されている [1]。我々は、複注入素子において、２分子再結合定数がLangevin再結合定数より小さいときに負の静電容量が観測されることを解析的に示した[2]が、負の静電容量はShockley−Read−Hall（SRH）trap-assisted 再結合に起因するとの報告がある[3]。この主張は2分子再結合定数がLangevin再結合定数で表されることを前提としている（この場合、負の静電容量は観測されない）。本報告では、SRH再結合の解析解を導出し、[3]では、明確な表式が与えられていなかったαに関する表式を導出し、[3]の実験結果との比較、検討を行う。

2. 手法　電子および正孔の電流の式、ポアソンの式、SRH再結合を考慮した電流連続の式を直流電圧に重畳した微小交流電圧を印加した際の複素インピーダンス$Z(\omega)$を導出した [4]。

3. 結果　低周波域における$Z(\omega)$は、

$$Z(\omega) = R_0 \frac{1+j\omega\tau}{2+j\omega\tau}\left[1 - j\omega\Theta\frac{3}{4}\frac{1+j\omega\tau}{3+j\omega\tau}\right] \quad (1)$$

と求められた。ここで、τはSRH再結合時間、$\Theta = (3/2)R_0C_0$、R_0は直流電圧に対する抵抗、C_0は幾何容量である。上式で$\omega\Theta \ll 1$のとき、[3]における表式

$$C(\omega) = C_0 - \frac{\alpha\tau}{1+\omega^2\tau_r^2} \quad (2)$$

と比較すると、

$$\alpha = \frac{1}{R_0} = \frac{9}{8}\mu_p\mu_n(n_T - p_T)\tau S\frac{V}{d^3} \quad (3)$$

となる。ここで、$\mu_n \cdot \mu_p$は、電子・正孔移動度、$n_T \cdot p_T$は熱平衡状態時の電子・正孔密度、Sは素子面積、dは素子膜厚である。図2に、図１に式(2)を一致させて得られたαの値を示す。実験値は式(3)と同様に印加電圧の上昇とともに増加するものの、印加電圧全域では一致しなかった。当日は、この原因について考察するとともに２分子再結合を考慮した負の静電容量の挙動とも比較、検討する。

謝辞　本研究の一部は、科学研究費補助金（JP19H02599、JP20H02716、JP20K21007、JP21H04564）の助成を受けて行った。

参考文献　[1] J. Takahashi, *J. Appl. Phys.* **125**, 245501 (2019). [2] M. Takata, K. Takagi, T. Nagase, T. Kobayashi, H. Naito, *J. Nanosci. Nanotechnol.* **16**, 3322 (2016). [3] Q. Niu, N. I. Cracium, G. A. H. Wetzelaer, P. W. M. Blom, *Phys. Rev. Lett.* **120**, 116602 (2018). [4] 岡地崇之、大阪府立大学博士論文 (2008); doi/10.24729/00000026

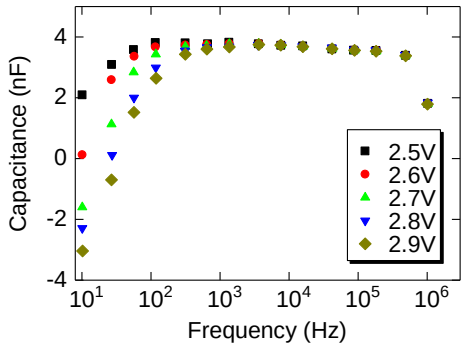

Fig .1 Frequency dependence of differential capacitance in OLED with Super Yellow emissive layer at different bias voltages [3].

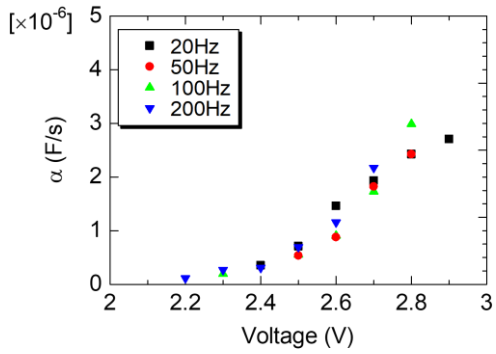

Fig .2 Values of α(V) obtained from the experimental data in Fig .1 using Eq. (2) at different frequencies.

© 2022年 応用物理学会