

## 光 CELIV 法を用いたトラップ密度関数の直接決定

(東大物性研) ○田島裕之、安井基陽

有機薄膜デバイスにおいては、「移動度」がしばしば議論されるが、作成法、実験法により「移動度」はしばしば変化し、必ずしも物性量（物質固有のパラメータ）として議論できるかどうかは定かではない。これは、多くの「移動度」測定法で無視されている電荷トラップの影響が現実には大きいと考えられる。このような問題に挑むために、ITO/PEDOT:PSS/P3Ht:PCBM/Al の試料を用いて 210K から 1.6K の広い温度領域にわたって、光 CELIV (Charge extraction by linearly increasing voltage) 法の実験を行った。

図 1 に光 CELIV 法の原理図を示す。この実験では、光キャリアをパルス光照射することにより生成し、遅延時間  $t_d$  後に逆バイアスにより抽出する。暗状態では、試料は単純なコンデンサーとして動作するため、ステップ型の変位電流が観測されるだけであるが、パルス光照射があるときは、それに CELIV シグナルが重畳する。G. Juška らによれば[1]、CELIV シグナルのピークとなる時間  $t_{max}$  から

$$\mu = \frac{2a^2}{3At_{max}^2 \left[ 1 + 0.36 \frac{\Delta J}{J(0)} \right]} \quad (1)$$

の式により、mobility を求めることができる。ただし  $a$  は電極間距離、 $A$  は  $A = dV/dt$  で与えられる電圧印加速度、 $\Delta J/J(0)$  は  $t=0$  のときの電流  $J(0)$  と CELIV シグナルによる電流増加  $\Delta J$  との比、である。

図 2a, b に低温における実測の CELIV シグナルを示す。(1)式によれば CELIV シグナルのピ

ークは電圧表示で、おおよそ  $V_{max} = At_{max} \propto \sqrt{A/\mu}$  になるような  $A$  (電圧上昇速度) 依存性を持つはずである。この関係は高温においてはおおよそ満たされているように見えるが、極低温においてはかなりずれることがわかった。特に、30 K 以下では、CELIV シグナルのピークは電圧により決まり、 $A$  にはほとんどよらない。

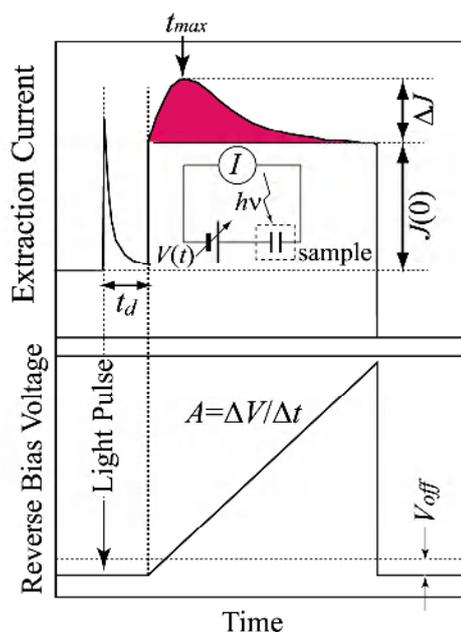


図 1 光 CELIV 法の模式図

$t_d$ ,  $A$ ,  $V_{off}$  の各パラメータは、遅延時間、電圧上昇速度、オフセット電圧をあらわす。上の絵のステップ関数に重畳した"こぶ"の部分が CELIV シグナルに相当する。

一連のデータを解析するために、CELIV シグナルが強電界のもとで、トラップから脱出するキャリアを反映するという新しいモデルを考案した。このモデルでは、強電界下においては、活性化エネルギーが Poole-Frenkel 効果により減少すると仮定する。また光キャリア生成によるポテンシャルのゆがみを無視し、電場が一様と仮定する。これら一連の仮定のもとでは、CELIV シグナルは簡単な計算により

$$J/A = \frac{1}{AS} \frac{dQ}{dt} = -\int e\rho(\varepsilon) \frac{df(\varepsilon, F)}{dF} d\varepsilon \quad (2)$$

$$X = \frac{a}{A\tau_0} \left( \frac{2F^{0.5}kT}{\beta} - \frac{2k^2T^2}{\beta^2} \right) \exp\left(\frac{-\varepsilon + \beta F^{1/2}}{kT}\right) + \frac{a}{A\tau_0} \left( \frac{2k^2T^2}{\beta^2} \right) \exp\left(\frac{-\varepsilon}{kT}\right) \quad (3)$$

$$f = \exp(-X) \quad (4)$$

とあらわされる[2]。ここで $\rho(\varepsilon)$ はトラップ分布関数、 $\beta$ は Poole-Frenkel のパラメータ、 $\tau_0$ はフィッティングパラメータである。この式は  $T \rightarrow 0$  の時は、

$$\frac{J}{A} = \frac{e\beta F^{-1/2}}{2} \rho(\beta F^{1/2}) \quad (5)$$

と特に単純になる。これは極低温では熱によるキャリアのトラップからの脱出が抑えられ、電場によるトラップからの脱出が支配的になるからである。したがって $\beta$ が求められれば、極低温の CELIV シグナルから直接トラップ関数を求めることができる。 $\beta$ と $\tau_0$ の値は CELIV シグナルの温度変化を調べることにより、求めることができる。以上の考察に基づいて、データを詳細に解析した結果、図 2d に示すようなトラップ密度関数を得た。また解析で得た CELIV シグナルの温度変化を図 2c に示す。

図 2c の結果は、定性的には実験結果をよく反映している。特に注目すべきは、極低温では CELIV シグナルが  $A$  依存性を示さないのに対して、高温では  $A$  依存性を示すようになる点である。また興味深いことに、実験で得られたトラップ分布関数はほぼガウス関数で再現されることがわかる。

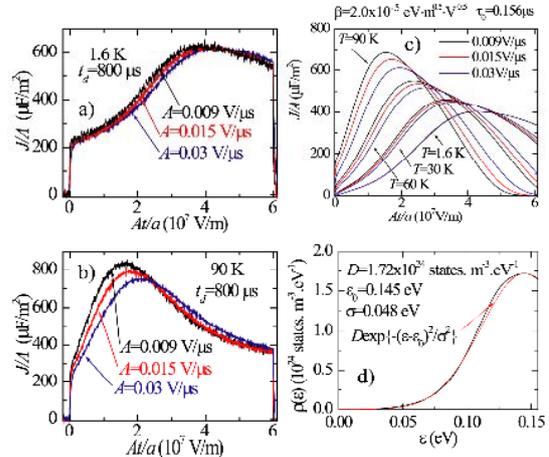


図 2 (a,b) 1.6K および 90K における実測の光 CELIV シグナル。1.6K のデータは、このプロットでは  $A$  依存性をほとんど示さない。

(c) (2)-(4)式により計算で求めた CELIV シグナルの温度依存性

(d) 解析で得た実測のトラップ分布関数。この分布関数は Gauss 関数でほぼあらわされる。

## 参考文献

- [1] G. Juška et al, *Phys. Rev. B*, **62**, R16235 (2000).
- [2] H. Tajima and M. Yasui, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **80**, 063705 (2011).