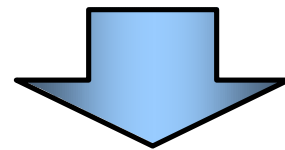


1 . はじめに

強誘電体薄膜のトラップ評価には一般的に TSC 法が用いられてきた。

[TSC 法の問題点]

- 1) TSC 法では、一定の温度上昇率、一定電圧での電流の温度依存性から、3つのパラメータ（トラップ準位、トラップの脱出周波数、トラップ密度に関係する定数）を同時にフィッティングによって評価しなければならない。
- 2) 一定の温度上昇率で測定を行うための測定装置が必要である。



TSC 法の問題点を解決するために、
放電電流過渡分光(DCTS)法を提案している。

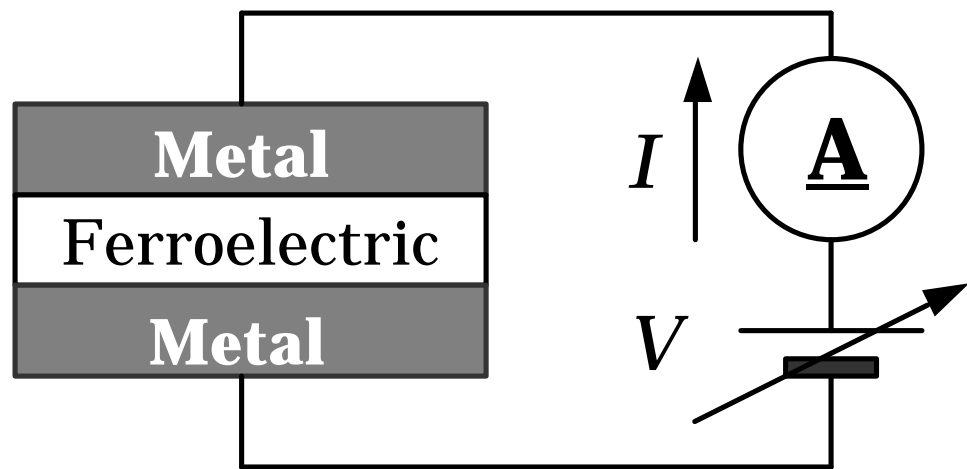
[DCTS 法の特徴]

- 温度を一定にして測定を行う。そのため、難しい温度制御を行う必要が無い。
- 放電電流を測定して、DCTS 信号に変換する。このグラフによりピーク時間からトラップの放出割合が、ピーク値からトラップ密度が直接求められる。

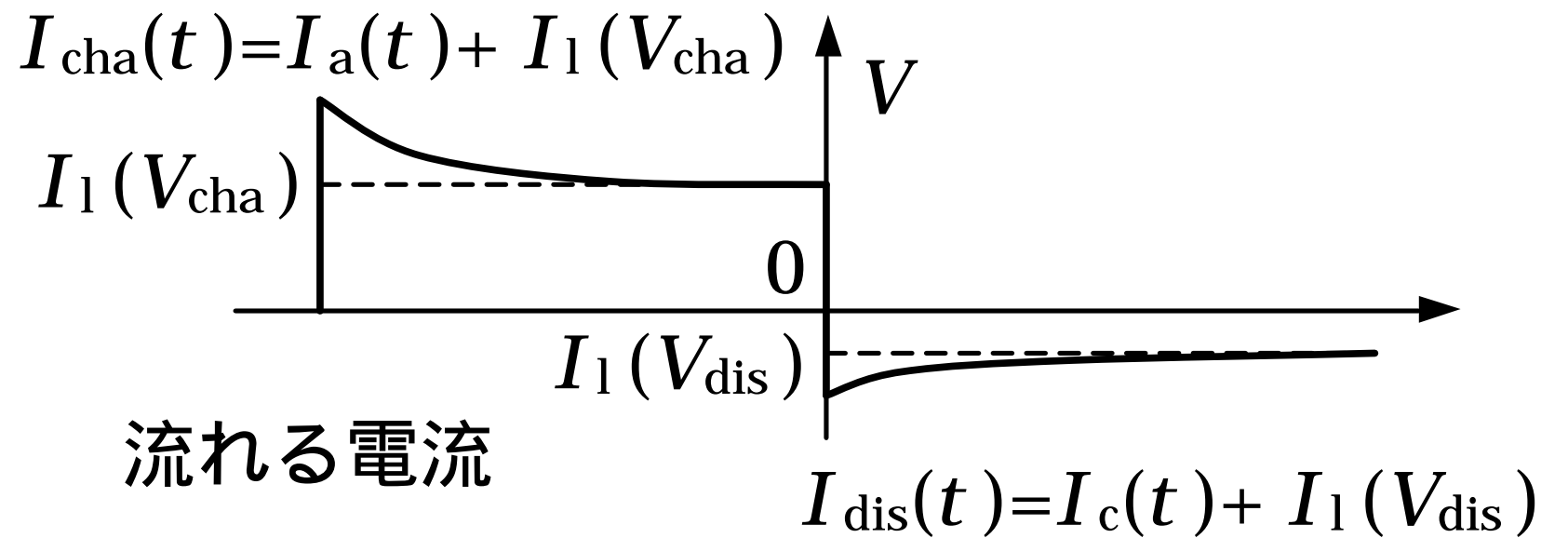
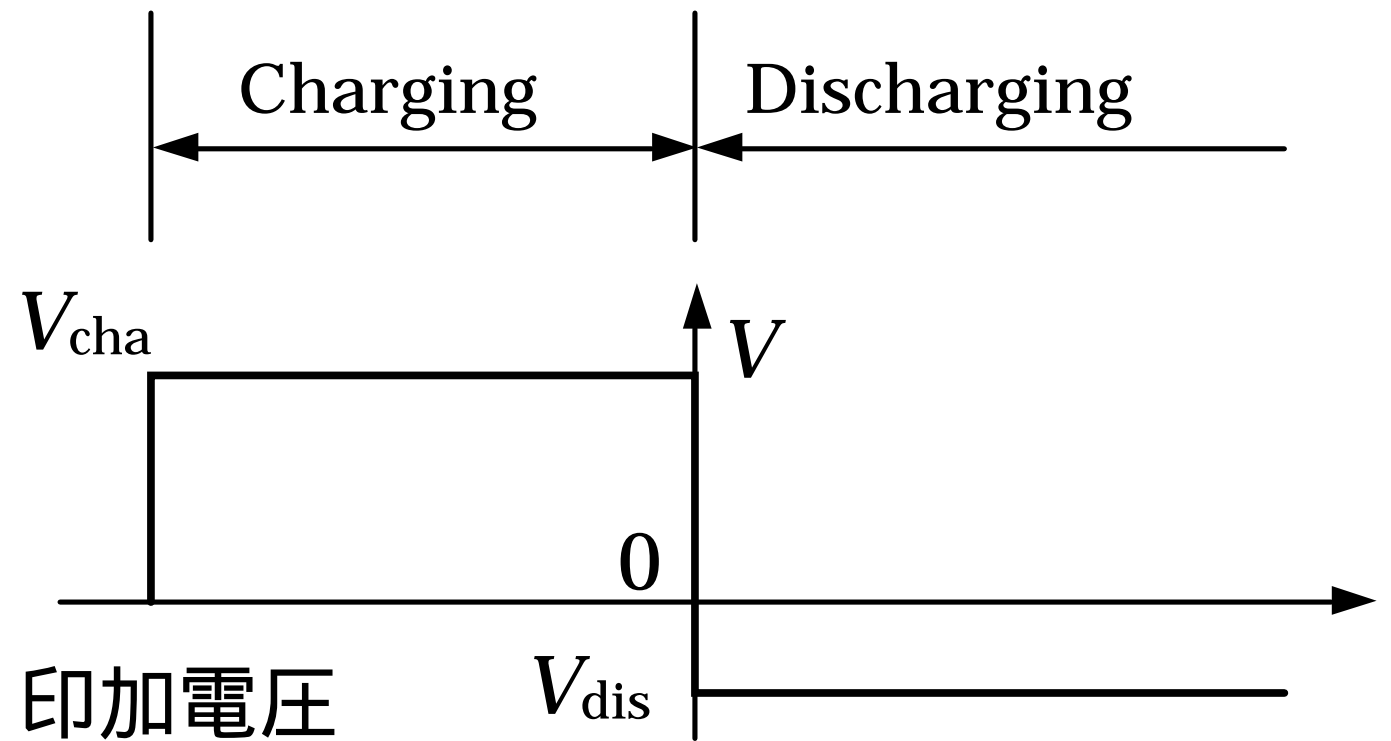
[本研究の目的]

- 従来の DCTS 法では、測定時間の範囲外のトラップを評価できなかった点を解決する。
- 近い放出割合のトラップが存在する場合の、各々のトラップの放出割合を求める。

2 . DCTS 法理論



測定回路



放電中、 t [s]に膜中に存在する電荷量

$$Q_t(t) = Q_t(0)\exp(-e_t t) \quad e_t : \text{キャリアの放出割合}$$

充電中に蓄えられる電荷

$$Q_t(0) = qN_t S \quad N_t : \text{単位面積あたりのトラップ密度}$$
$$S : \text{電極面積}$$

放電電流

$$I_{\text{dis}}(t) = \frac{dQ(t)}{dt} + I_1(V_{\text{dis}}) = -qSN_t e_t \exp(-e_t t) + I_1(V_{\text{dis}})$$

従来の DCTS 信号の定義

$$D(t) \equiv -t \cdot [I_{\text{dis}}(t) - I_1(V_{\text{dis}})] \frac{\exp(1)}{qS}$$

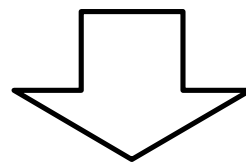
$$D(t) = N_t e_t t \cdot \exp(-e_t t + 1)$$

$e_t t = 1$ のとき $D(t)$ は最大になるので、 $D(t)$ グラフの最大値から各々

$$N_t = D(t_m) \quad , \quad e_t = \frac{1}{t_m} \quad \text{が求められる}$$

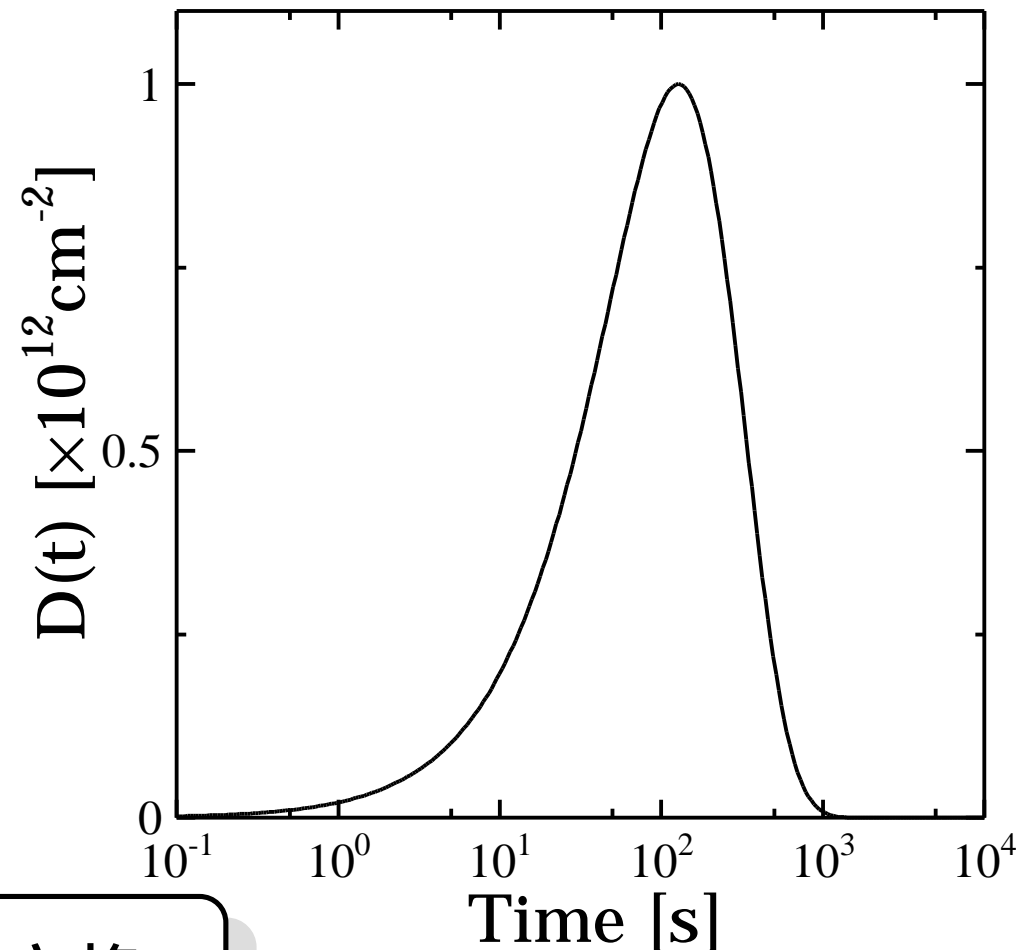
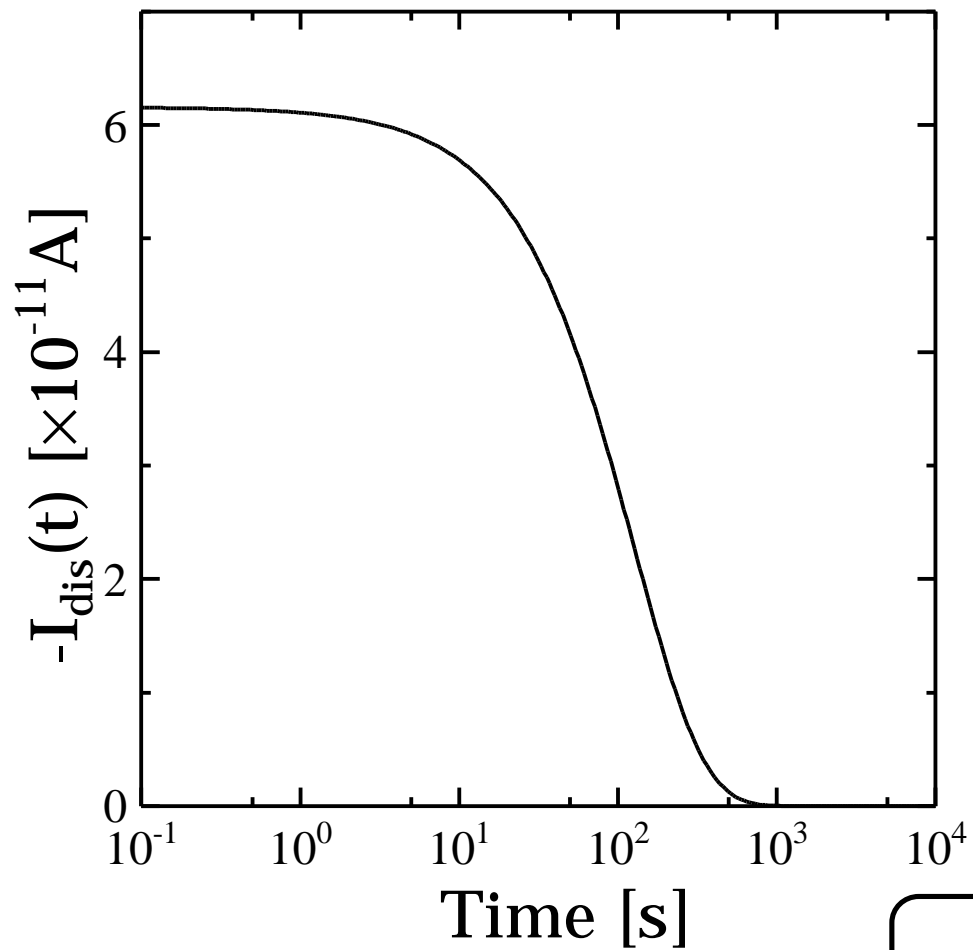
- 異なる準位に複数のトラップが存在する場合の $D(t)$
- すべてのトラップから放出された電荷が検出される
- DCTS 信号もすべてのトラップの信号が検出される

$$D(t) = \sum_i N_t^i e_t^i t \cdot \exp(-e_t^i t + 1)$$



- 各放出割合に対応するすべてのピークが別々に現れる

計算条件 ($e_t = 7.84 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 、 $N_t = 1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 、電極面積 4.91 mm^2)



DCTS 変換

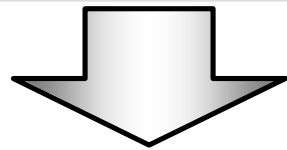
$$D(t) = -t \cdot [I_{\text{dis}}(t) - I_1(V_{\text{dis}})] \frac{\exp(1)}{qS}$$

• $t_m = 127 \text{ s}$ $e_t = 7.84 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 、 $N_t = D(t_m) = 1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$
 と正確に評価できる

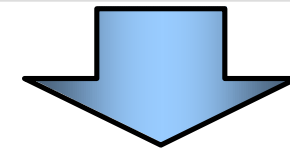
・ 従来の DCTS 法の問題点

【問題点 1】 測定時間の範囲外にピークがある場合

- ・ 電流は時間と共に減少していく
- ・ 電流測定が可能な時間までしか測定できない
- ・ 評価可能なトラップが限られてくる



解決策



- ・ 温度を変化させる
- ・ 絶縁膜にダメージを与えてしまう

- ・ DCTS 変換の際にピーク時間を任意に変化できるようにする
- ・ **測定時間内にピークを移動する**

[DCTS 法の改良点]

- ・ ピークの現れる時間を変化させる為に、
本研究では新たにパラメータ e_{ref} を導入する
- ・ e_{ref} を用いた DCTS 信号を新たに定義する

新たな DCTS 法の定義式

$$\begin{aligned} D(t, e_{\text{ref}}) &\equiv -t \cdot [I_{\text{dis}}(t) - I_1(V_{\text{dis}})] \frac{\exp(1)}{qS} \cdot \exp(-\underline{e_{\text{ref}}}t) \\ &= N_t e_t t \cdot \exp[-(e_t + \underline{e_{\text{ref}}}) t + 1] \end{aligned}$$

$$t_m = \frac{1}{e_t + e_{\text{ref}}} \quad \text{の時に } D(t, e_{\text{ref}}) \text{ は最大となる}$$

- e_{ref} を変化させる事によって
ピークの現れる時間を変化させる事ができる

$D(t, e_{\text{ref}})$ グラフの最大値から各々

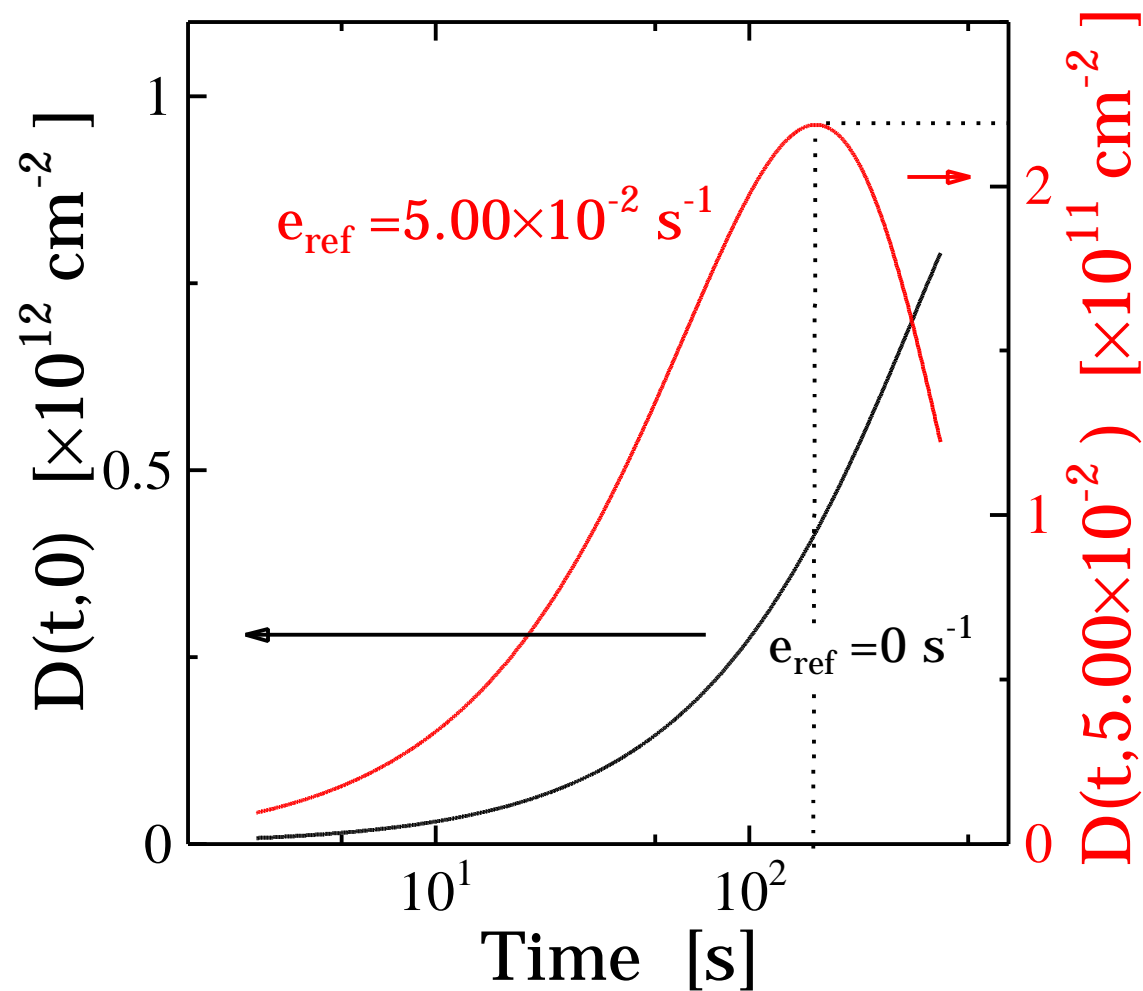
$$N_t = \frac{D(t_m, e_{\text{ref}})}{1 - e_{\text{ref}} t_m} \quad , \quad e_t = \frac{1 - e_{\text{ref}} t_m}{t_m}$$

が求められる

- ピークが測定時間外の場合

放電電流の計算条件

($e_t = 1.13 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 、 $N_t = 1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 、 電極面積 4.91 mm^2)



- e_{ref} を変化させる事で
ピークを検出できた

$$t_m = 156 \text{ s}$$

$$e_t = 1.13 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$$D(t_m, 5.00 \times 10^{-2}) = 2.20 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$$

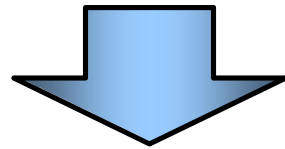
$$N_t = 1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$$

[問題点 2]

複数の近い放出割合をもつトラップが、互いに重なり合う場合

ピークを分離できなくなる

解決策

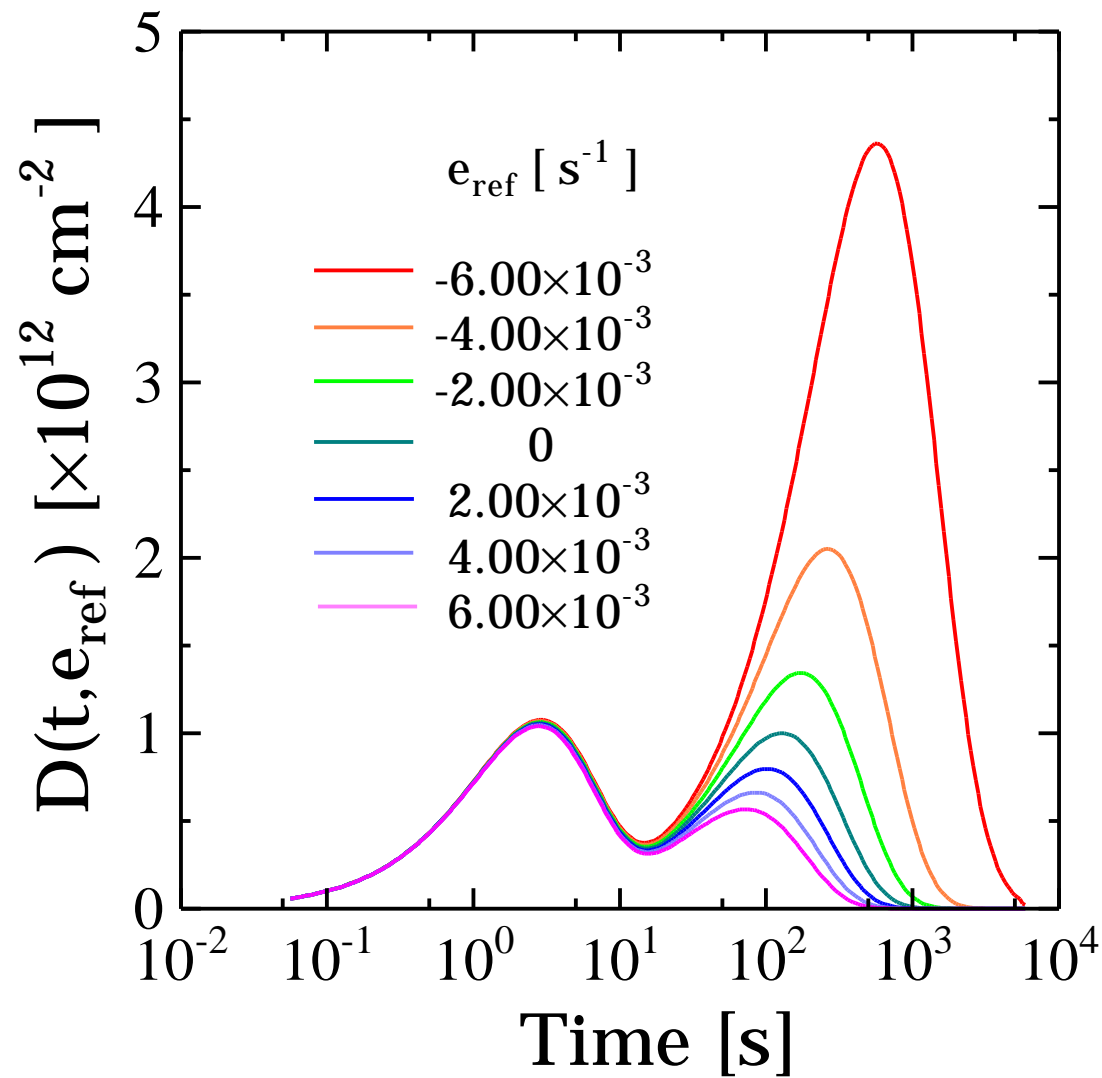


e_{ref} を連続で変化させる

・ e_{ref} を連続で変化させることによる DCTS 信号の変化
放電電流の計算条件

(2 種類のトラップが存在する強誘電体薄膜

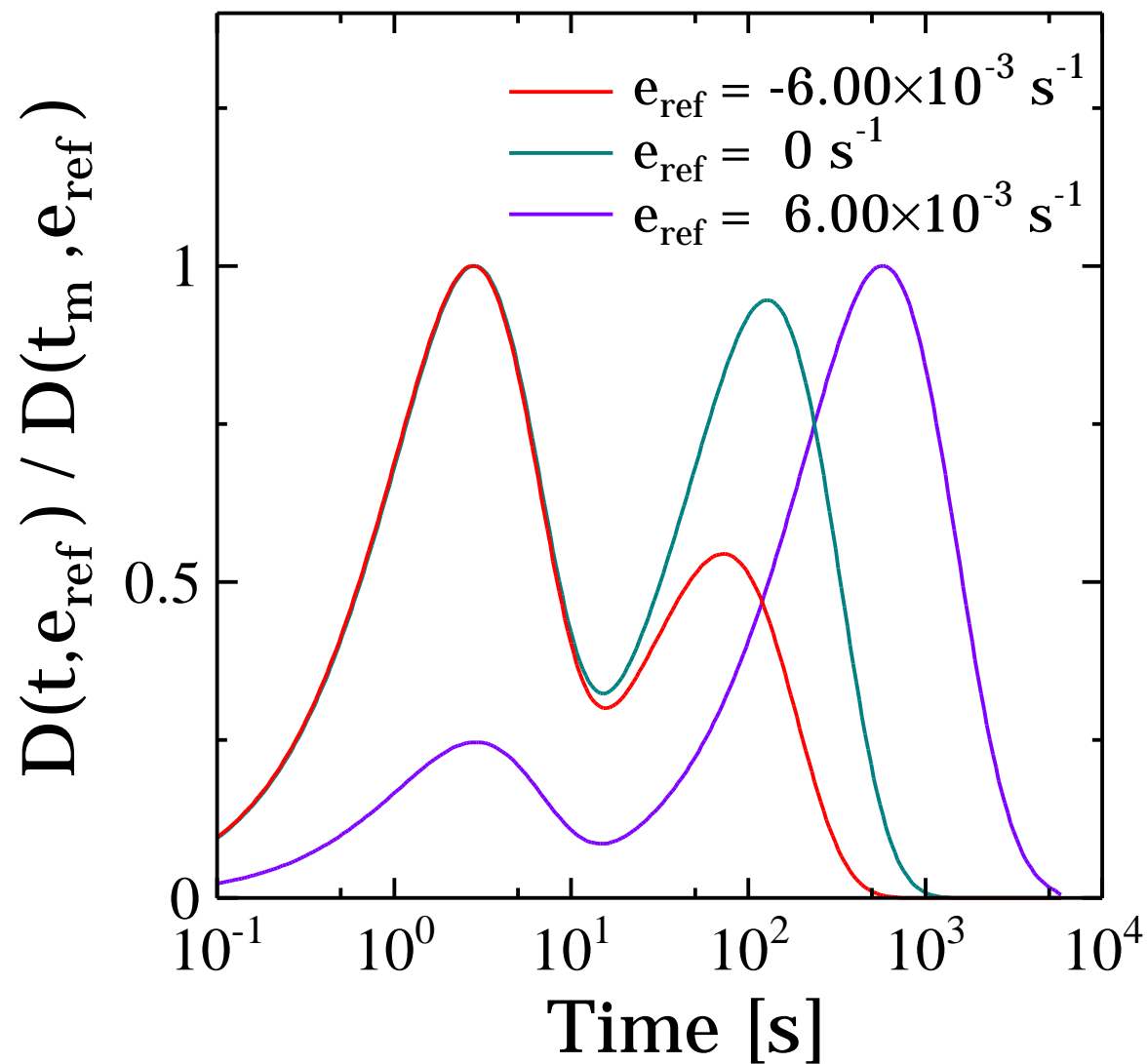
e_t は $3.74 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ と $7.84 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 、 N_t は各 $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ を用いて計算)



・ e_{ref} の変化によって、
ピークが大きさが変化する

- e_{ref} を連続で変化させることによる

各 DCTS 信号のピークの相対的な変化



- 1番大きく現れたピークが
その e_{ref} で支配的なピークである
- e_{ref} の変化によって、
支配的なピークが変わる

ピークの変分方法

e_{ref} を連続で变化させる

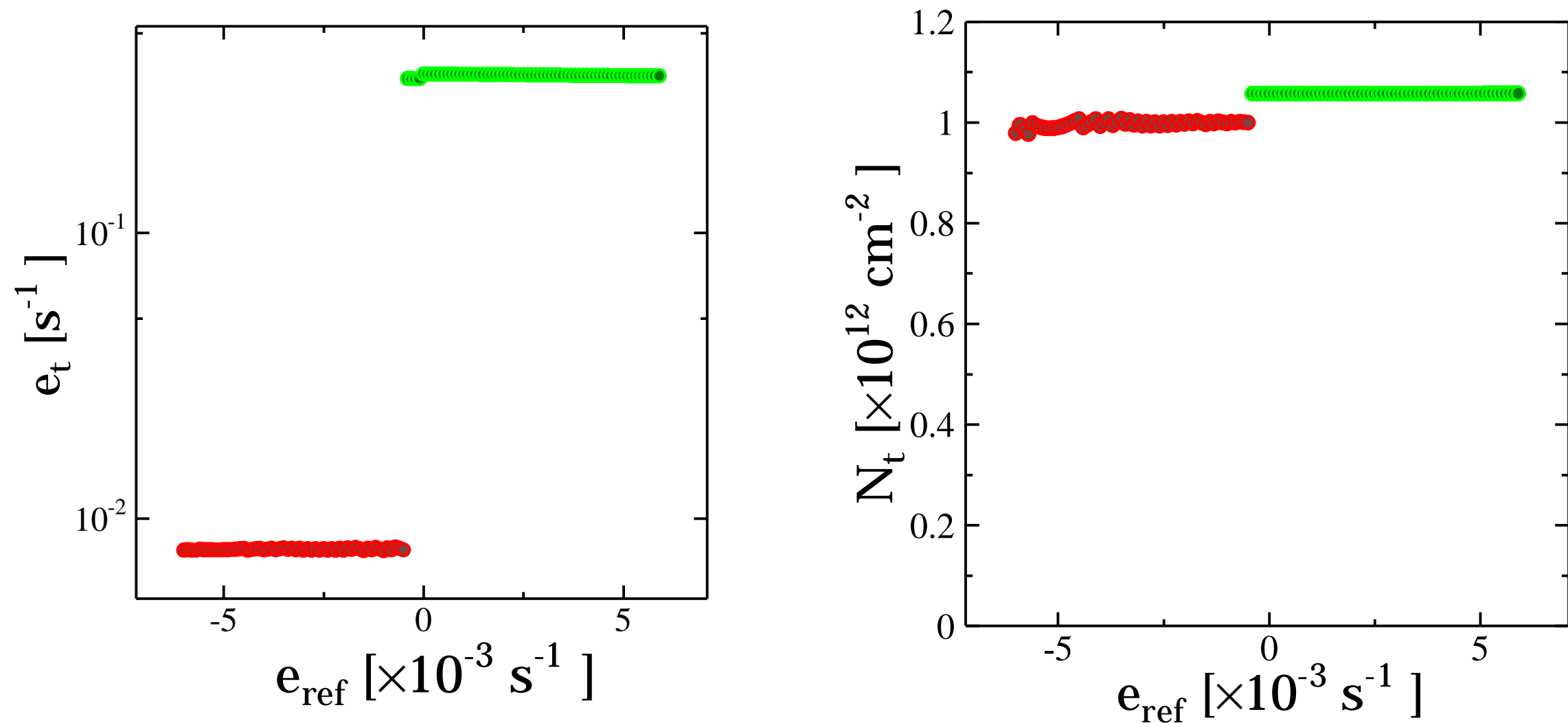
そのとき

ある e_{ref} 範囲で支配的なピークが 1 番大きく現れる

そのピークの e_t と N_t を計算する

e_{ref} と e_t 、あるいは、 e_{ref} と N_t の関係を
プロットすることによって、
ピークを分離することができる

この方法を用いて分離した e_t と N_t



- この方法でピークを 2 つに分解できた
- 計算に用いた設定値を、求めることができた

3 . まとめ

- 新たに e_{ref} を導入する事によって、測定時間の範囲外の為に測定できなかったトラップを評価できるようになった。
- 導入した e_{ref} を連続で変化させる事によって、他のトラップの影響で区別できなかったトラップを、完全に区別できるようになった。

【参考文献】

H. Matsuura: Jpn. J. Appl. Phys. 36(1997) 3569.

長谷貴志、松浦秀治:信学技報 SDM98-180(1998-12) 81.

H. Okino, et al.:Jpn. J. Appl. Phys. 37(1998) 5137.