

高強度赤外光照射による LeTID加速試験の検討

伊野 裕司、白澤勝彦、高遠秀尚

産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター

研究の目的

- LeTID (Light- and elevated temperature-induced degradation) は、現在主流のp型結晶シリコンPERCセルで問題となっている劣化であるが、劣化の根本原因の解明には至っていない。
- 太陽電池の発電量向上のためには、LeTIDによる損失を定量化し、その影響を最小限に抑えることが重要である。
- LeTIDの影響を迅速に評価するために、高強度赤外光照射を使ったLeTIDの加速試験の検討を行った。

実験

サンプル:

BドーピングCz-Si PERC (FREA製)

ライトソーキング(LS)処理:

- 疑似太陽光 0.1 W/cm² / 95 °C
- LED (855 nm) 1 W/cm² / 100 °C

評価:

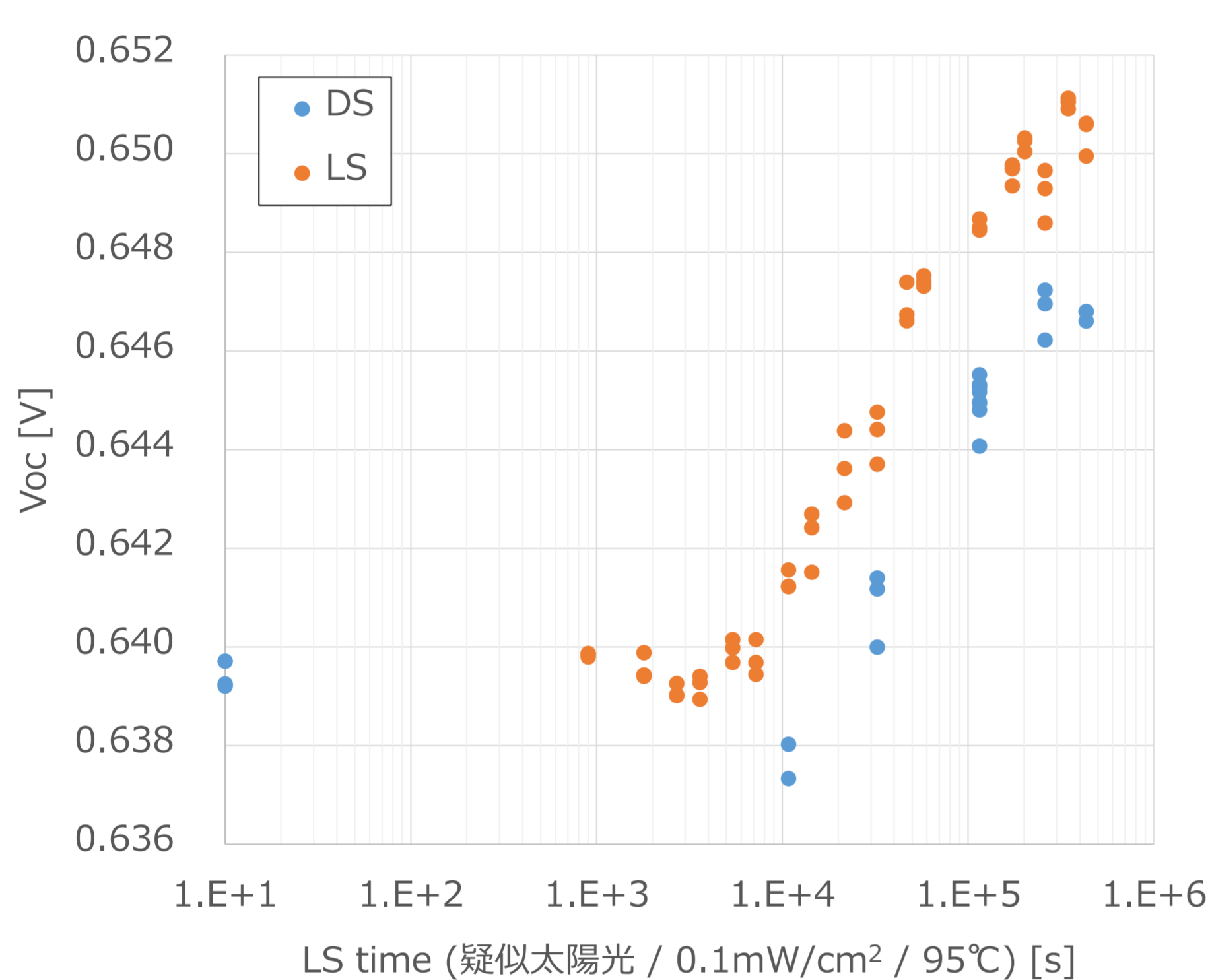
Suns-Voc測定, PL測定



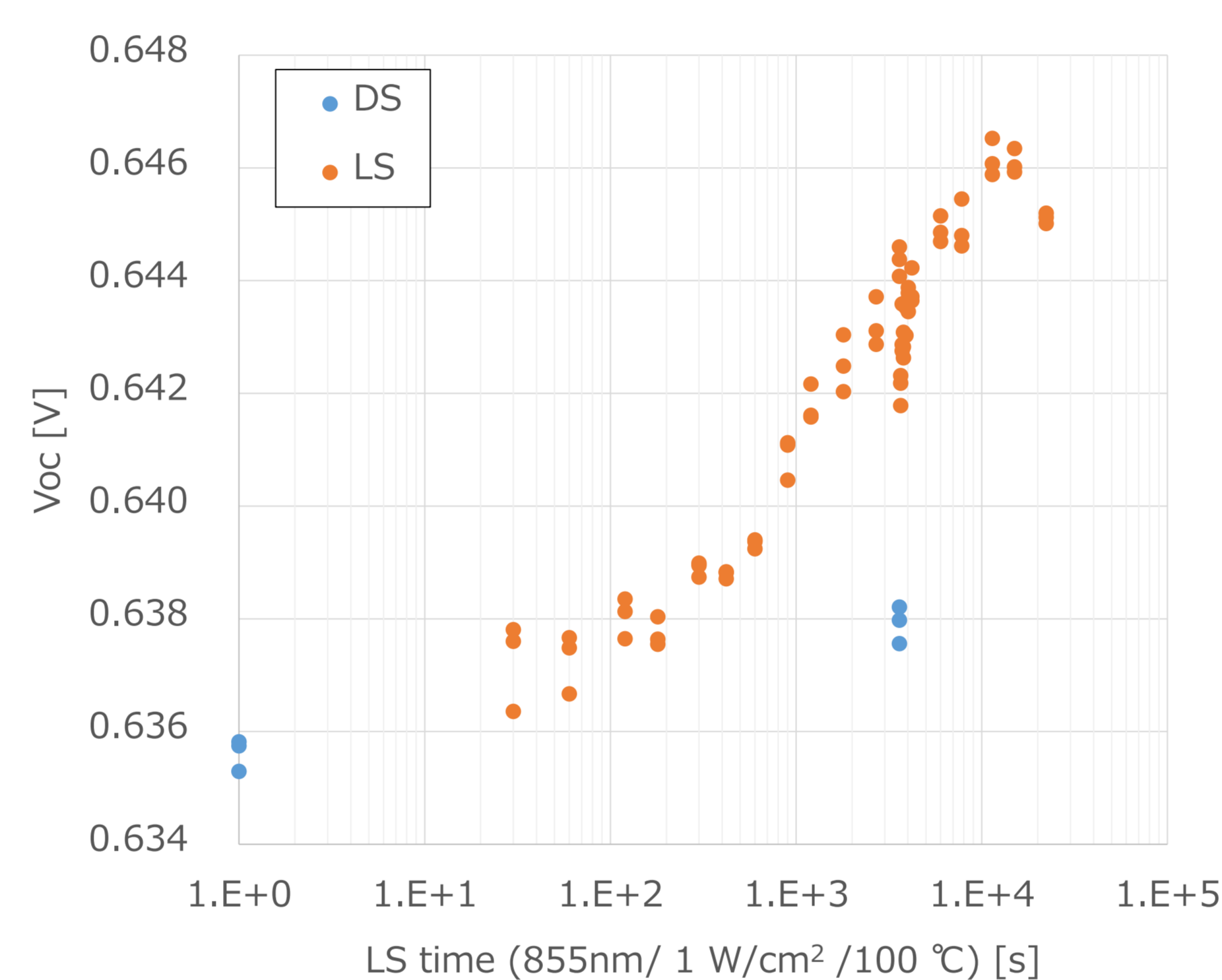
LED赤外光照射装置(IF855-180/180, カンタムエレクトロニクス)
λ = 855 nm, 最大照度4W/cm², 温度制御: 100~300°C

結果

疑似太陽光: 0.1 W/cm² / 95 °C



LED (855 nm): 1 W/cm² / 100 °C

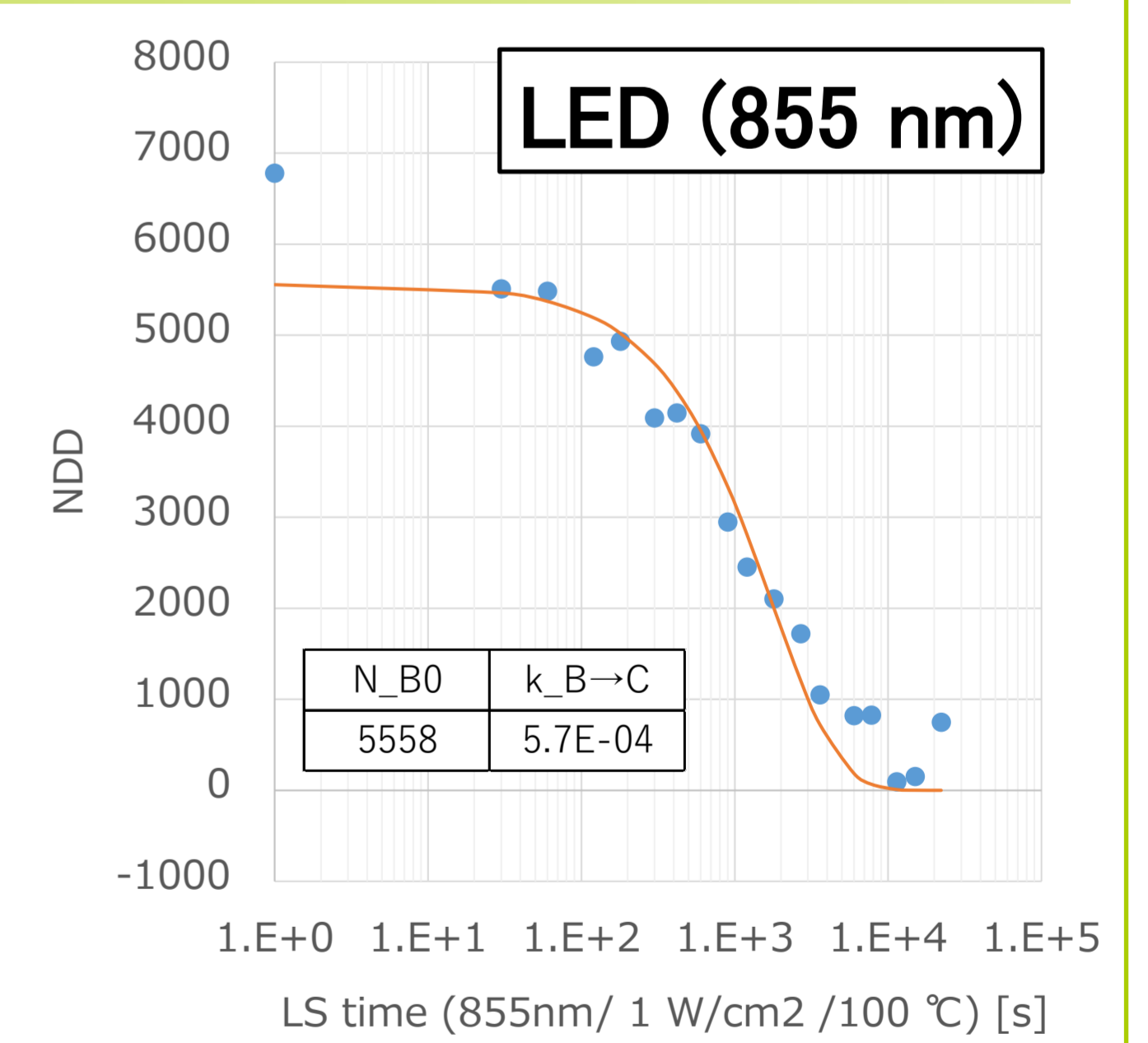
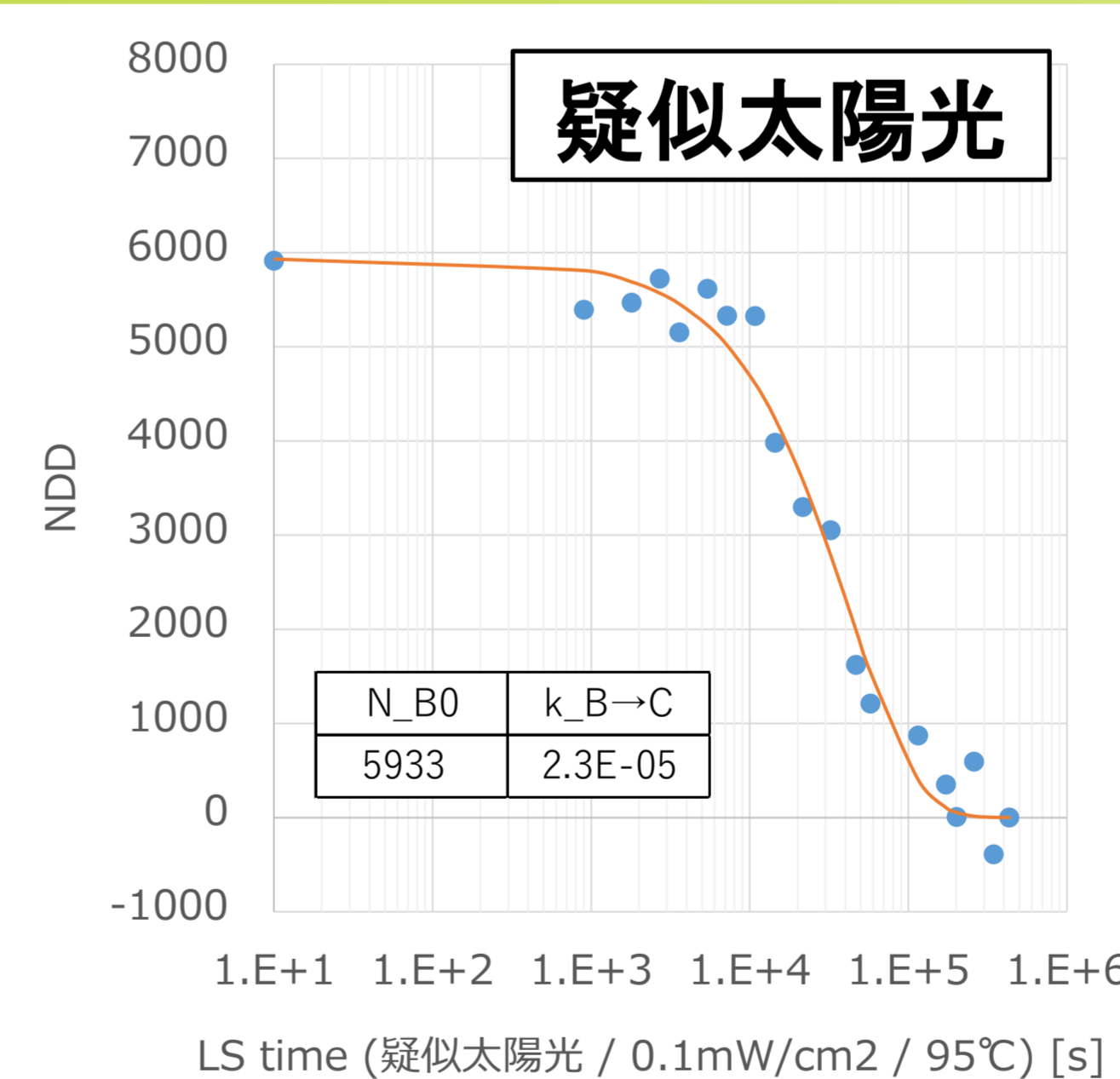


- 両方の処理条件で、LS処理により類似したVocの上昇が見られた。これは、疑似太陽光照射中に起こった変化が、855 nmでの赤外光照射によっても起こることを示唆する。
- LS処理の初期での劣化が小さかったことは、サンプルが初期状態ですでに活性化欠陥を含んでいたためと考えられる。ダークアニール処理により欠陥を減らした後でLS処理を行うと、劣化挙動がより明らかに観察された。
- また、どちらの処理条件でも、LS処理を中断し暗所保管(DS)すると、Vocの低下が見られた。

考察

- LS処理での欠陥密度の変化を表すために正規化欠陥密度(NDD)が使われており、一般に次式で定義される[1]:

$$NDD(t) = \frac{1}{\tau(t)} - \frac{1}{\tau_0}$$
- Suns-Voc測定から導出されたライフタイム τ を使い、NDD(t)を導出した(右図)。ただし、ここではLS処理前にすでに再結合活性化欠陥を含んでいると考えられたため、 τ_0 の代わりにLS処理後の飽和したライフタイムを使用した。



- LS処理に対するNDDの挙動は、1つの指数関数で近似できた。これは、[1]で提案されている4状態間の反応モデルで考えると、再結合に対して活性化状態(状態B)から不活性化状態(状態C)への応として捉えられ、すなわち、

$$\frac{\partial N_B}{\partial t} = -k_{B \rightarrow C} N_B, \quad \frac{\partial N_C}{\partial t} = k_{B \rightarrow C} N_B$$

- NDDへのフィッティングにより求めた速度定数 $k_{B \rightarrow C}$ は、疑似太陽光処理で 2.3×10^{-5} [1/s], LED処理で 5.7×10^{-4} [1/s]となった。
- したがって、この条件での高強度赤外光照射処理は、疑似太陽光照射処理に対して、NDDの減少を約25倍に加速させた。

結論

- 疑似太陽光照射処理で見られた(劣化-)回復挙動が、855 nmでの赤外光照射によっても見られた。
- 反応速度定数の比較から、今回使用した条件での高強度赤外光照射処理は、疑似太陽光照射処理に対して、NDDの減少を約25倍に加速させたことがわかった。

参考文献

1. T. H. Fung *et al*, "A four-state kinetic model for the carrier-induced degradation in multicrystalline silicon: Introducing the reservoir state", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **184**, 2018, 48-56, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.04.024>.