

新型太陽電池高精度性能評価技術

産業技術総合研究所
太陽光発電研究センター
評価・標準チーム

吉田正裕・佐々木あゆ美・上田孝・志村陽哉・
石井勇希・菱川善博

新型太陽電池の高精度性能評価法の開発

◆ 太陽電池の**応答性(電気、光)**に応じた性能評価法の開発

新型太陽電池	特徴・特性	性能評価法開発(実施中)
結晶Si ヘテロ接合、バックコンタクト	高 V_{oc} 化、高容量性 I-Vヒステリシス	I-V測定掃引速度の最適化
両面受光型	Bi-faciality	表面・裏面照度応答性、線形性検証
CIGS、薄膜	過渡応答(高速、低速)	I-V測定掃引速度の最適化
ペロブスカイト 色素増感	遅い応答時間 I-Vヒステリシス 不安定性	低速掃引I-V測定(数秒~数百秒) V_{pmax} ホールド法やMPPT法等による 最適測定手法の開発

◆ 太陽電池の光応答性の観点で、性能評価法開発に取り組む

ペロブスカイト太陽電池

- 分光感度測定
- 光過渡応答波形測定



- 高精度性能評価法の開発
- (材料・デバイス作製へのフィードバック)

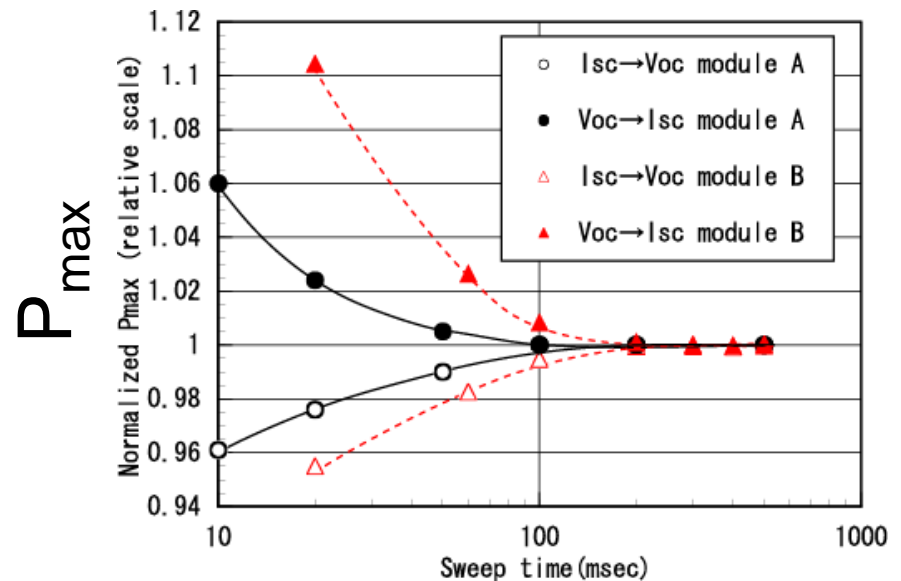
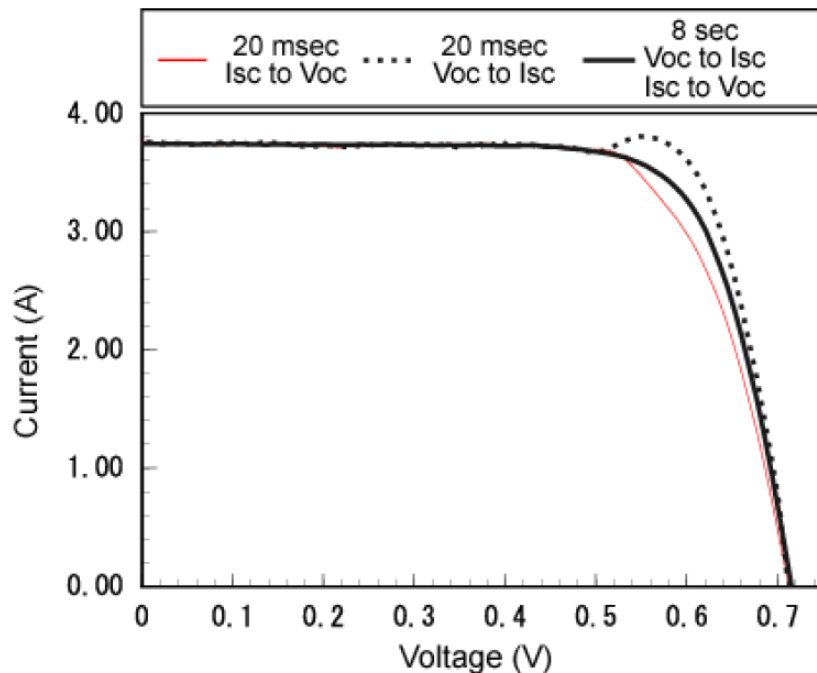
新型太陽電池：高効率結晶Si太陽電池

- a-Si/c-Si heterojunction構造
- Backside contact構造

- 高 V_{oc} 化
- 高容量性

IV sweep速度依存性 (シングルヘテロ接合PVモジュール)

応答速度～容量効果

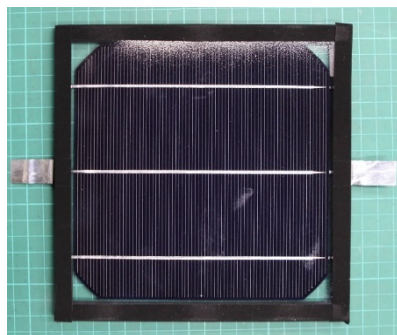


Y. Hishikawa, Proceedings of the 27th EUPVSEC, 2954-2960 (2012).

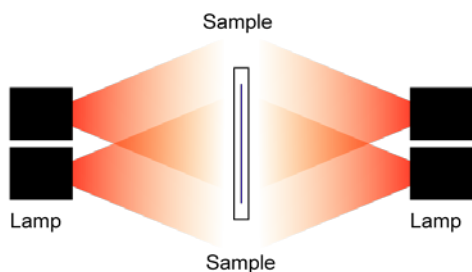
新型太陽電池：両面受光型太陽電池

- 実環境では、両面同時照射下で動作
- 発電性能評価法の確立が必要
(IECでも審議中)

- 表面・裏面同一性
- 電流線形性
(重ね合わせ)



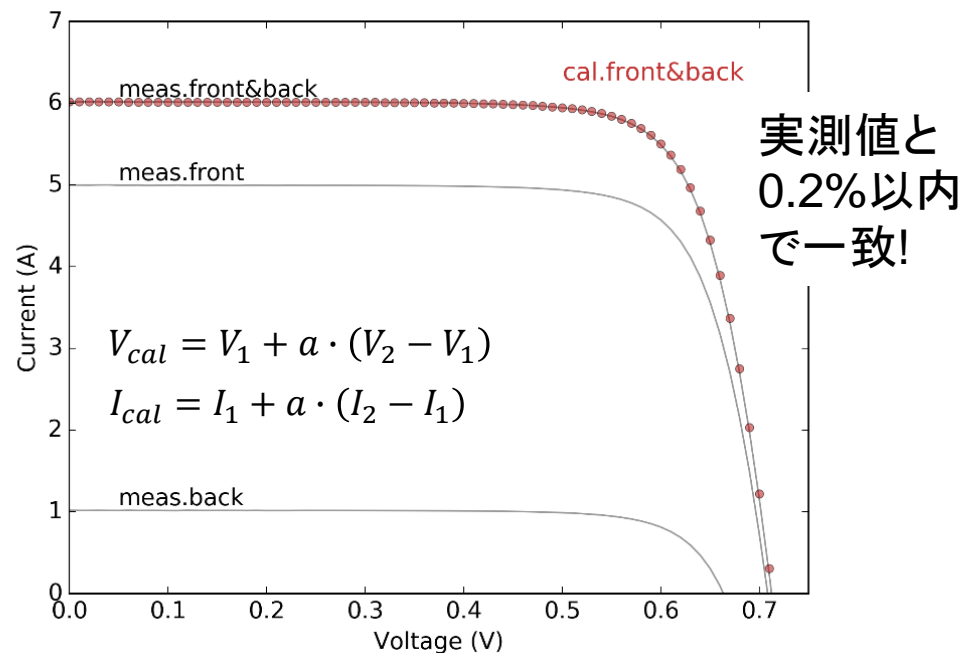
- 5-inch セル
- I_{sc} bi-faciality = 0.92



I_{sc} 測定, $I-V$ 測定:

表面照射 I_f , 裏面照射 I_b
同時照射 I_{fb}

線形補間法による両面照射時 $I-V$ 特性 (見積例)



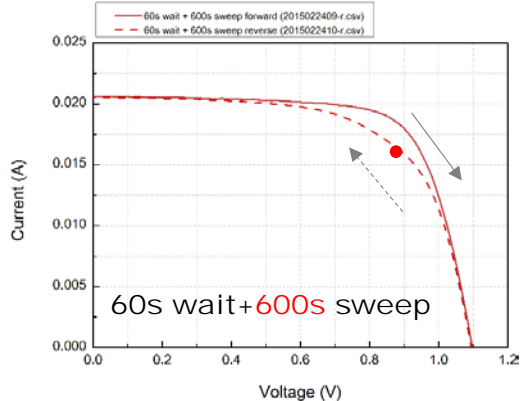
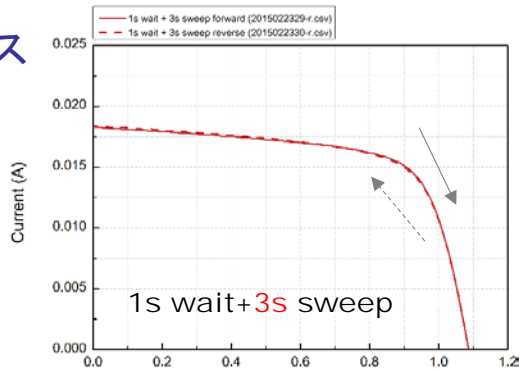
志村陽哉 他、平成28年度太陽／風力エネルギー講演論文集、p. 335 (2016).

新型太陽電池：ペロブスカイト太陽電池

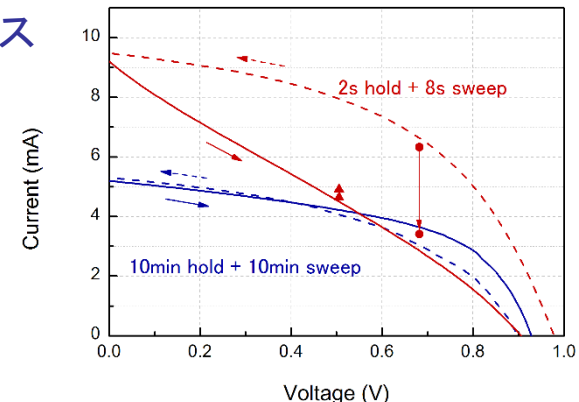
- 高効率 $\geq 20\%$
- I - V 特性、変換効率測定に課題
 - 非常に遅い応答 >10 分
 - 材料・デバイス構造との関連が不明
 - 特性が試料に大きく依存

- 遅い応答時間
- I - V ヒステリシス
- 不安定性

ヒステリシス
比較的小



ヒステリシス
比較的大

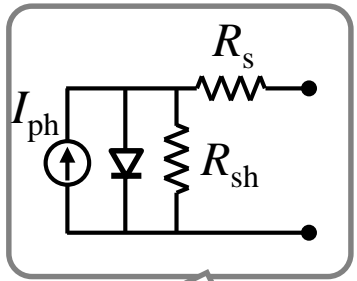


ヒステリシスが顕著な場合：

➡ V_{pmax} ホールド法による最良 P_{max} 決定
(高精度性能評価)

Y. Hishikawa, H. Shimura, T. Ueda, A. Sasaki, and Y. Ishii,
Curr. Appl. Phys. **16**, 898 (2016).

ペロブスカイト太陽電池のI-V応答時間と光応答の相関は？

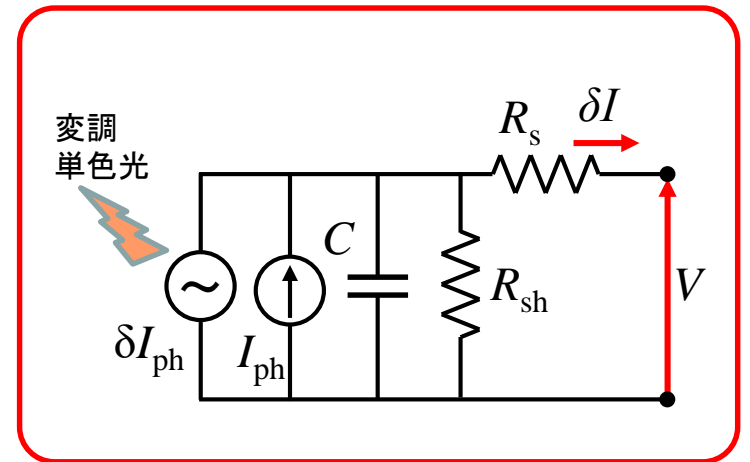
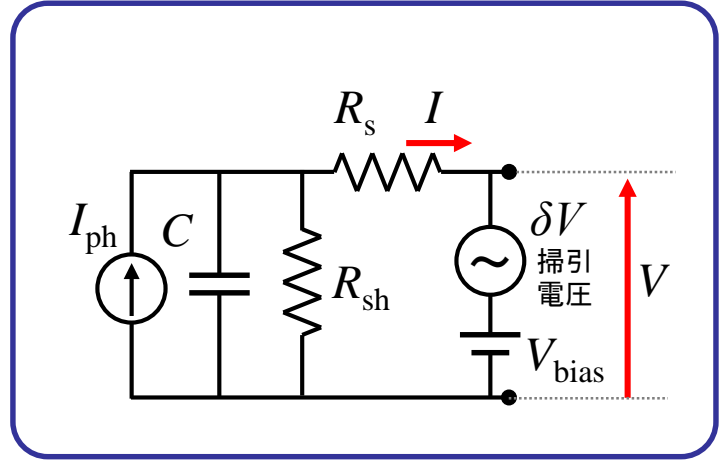


キャパシタンスモデルによる太陽電池(ダイオード)等価回路

I-Vヒステリシス
(遅い電気応答時間)

相関？

変調に対する光応答
(光学応答)



ペロブスカイト太陽電池におけるキャパシタンスモデル
例えば、
L. Cojocaru et al., *Chem. Lett.* **44**, 1750 (2015).
K. Miyano et al., *Appl. Phys. Lett.* **106**, 093903 (2015).

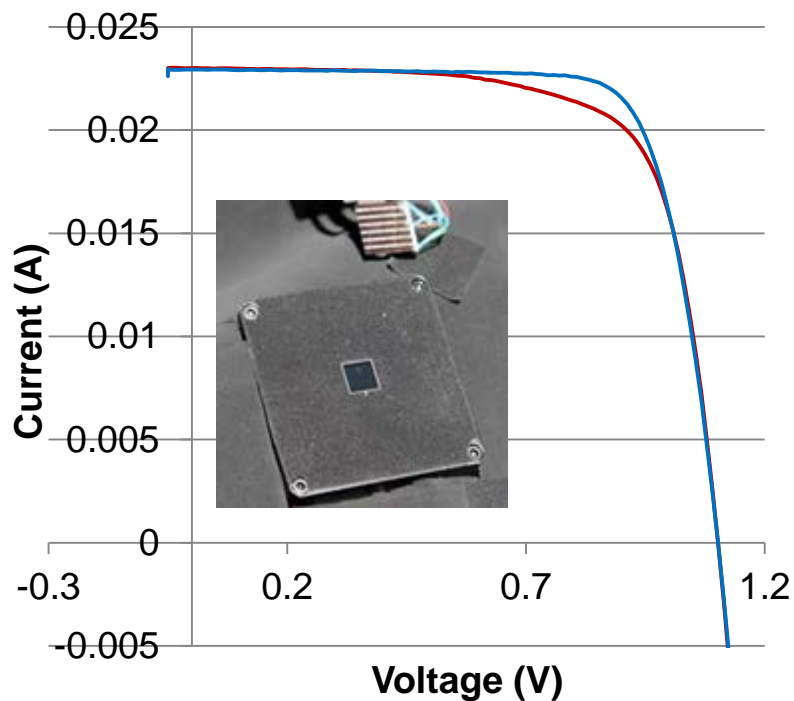
どのような光応答性(変調周波数依存性)？
I-V特性(ヒステリシス)との相関？

測定試料セルと I-V 特性

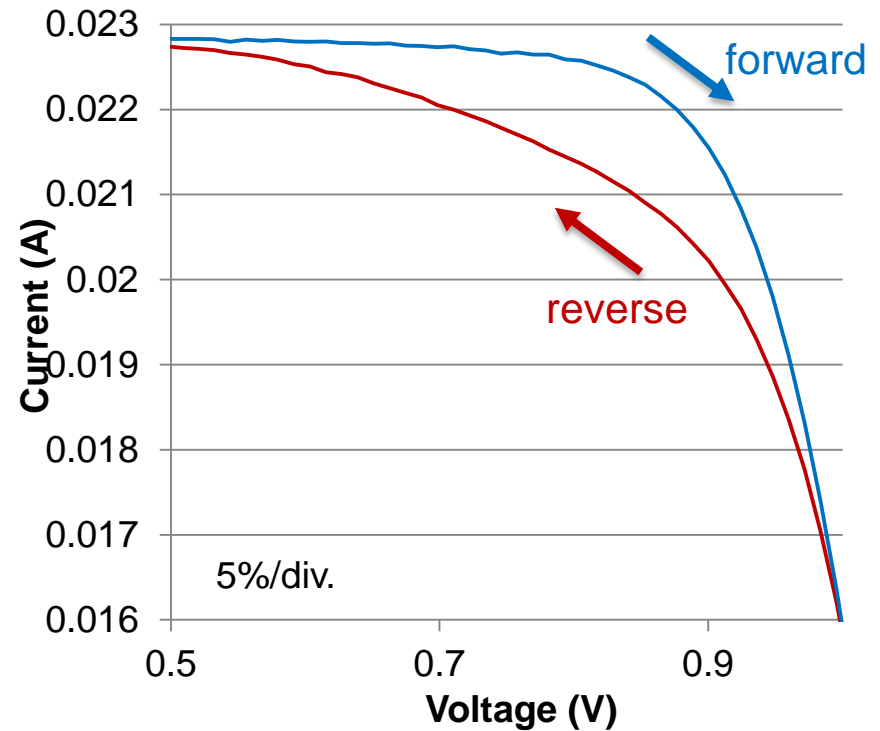
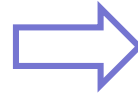
ペロブスカイト太陽電池セル

- ・平面型構造(planar)型
- ・面積 $\sim 1 \text{ cm}^2$
- ・変換効率 $\sim 19\%$

3-min hold, 10-min sweep



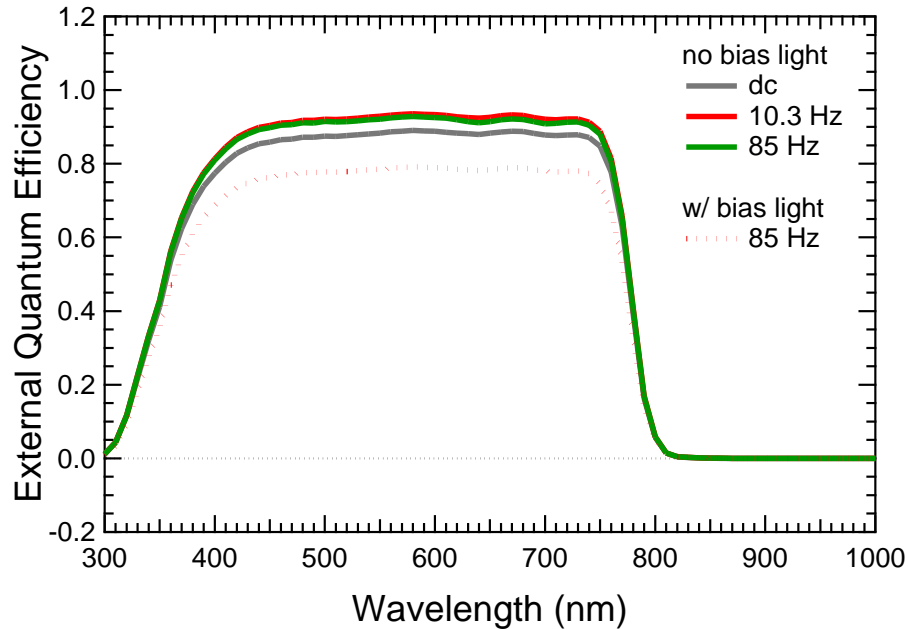
拡大



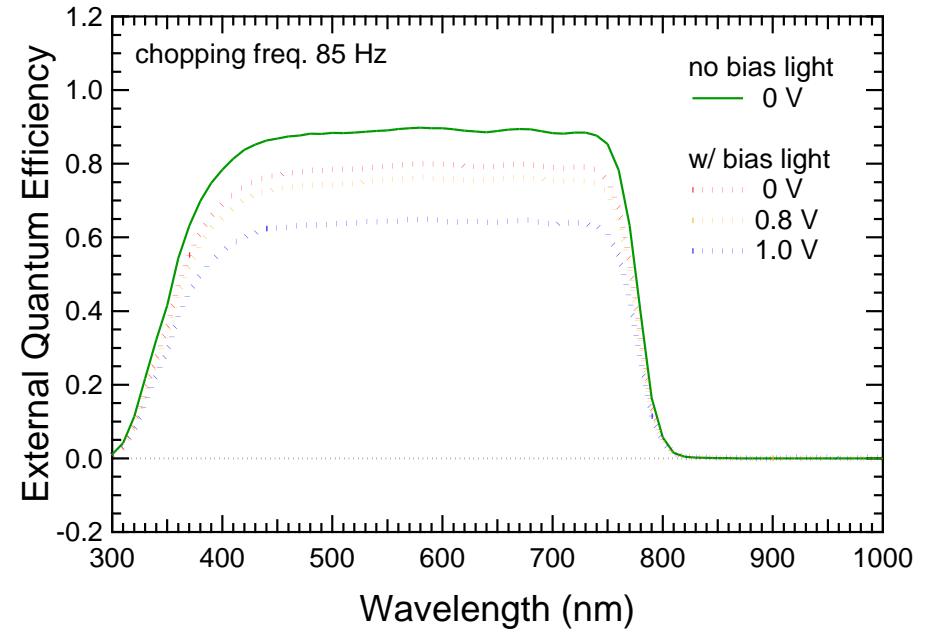
掃引時間10分でも、I-V特性にヒステリシスが残る。

実験結果：ペロブスカイト太陽電池の分光感度特性

変調周波数依存性



印加バイアス電圧依存性



EQE信号強度

- 変調周波数依存性ほとんどなし. \longleftrightarrow ?? I - V 測定では非常に遅い掃引時間
- 白色バイアス光(1-Sun相当)、印加バイアス電圧依存性あり.

EQEスペクトル形状

- 白色バイアス光、印加バイアス電圧依存性なし.

実験結果：ペロブスカイト太陽電池の光応答波形

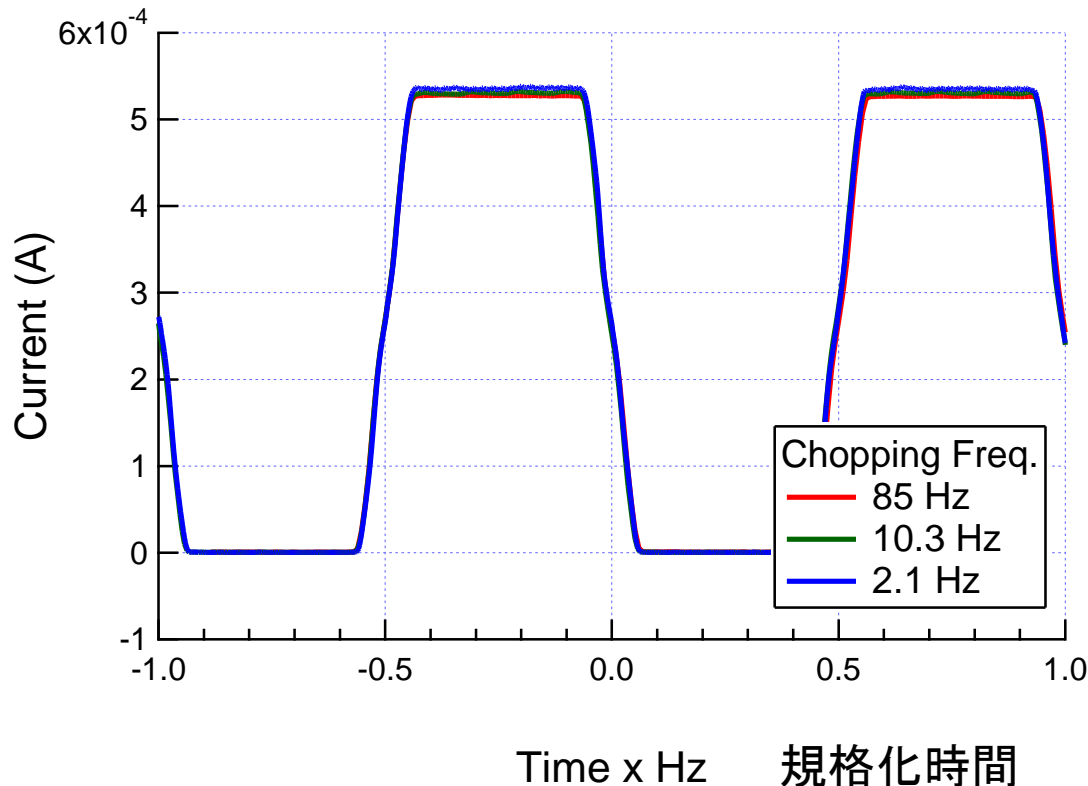
1) 白色バイアス光照射なし

…… 単色光変調周波数依存性

単色光波長 $\lambda = 550 \text{ nm}$

光強度： $4 \times 10^{15} \text{ 光子/s} \cdot \text{cm}^2$ ($\sim 1.4 \text{ mW/cm}^2$)

バイアス電圧 $V = 0 \text{ V}$

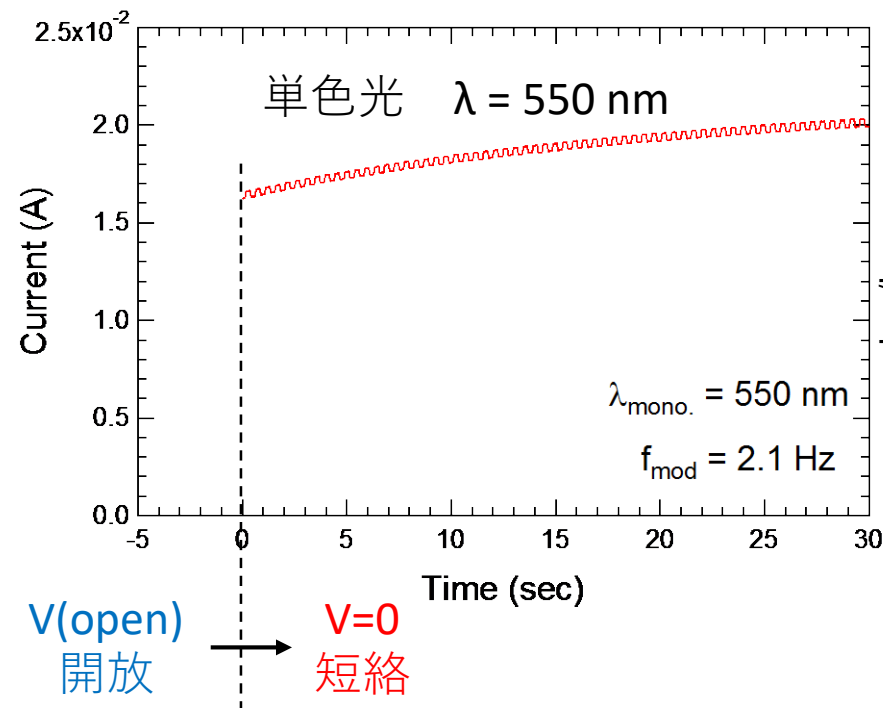


- 変調周波数にほとんど依存しない。
- 光応答時間は非常に短い。
I-V特性とは異なる応答。
- 応答時間下限見積もり
応答時間 $\tau < 1.1 \text{ ms}$
(周波数 $> 140 \text{ Hz}$ 以上)
- 単色光波長依存性なし

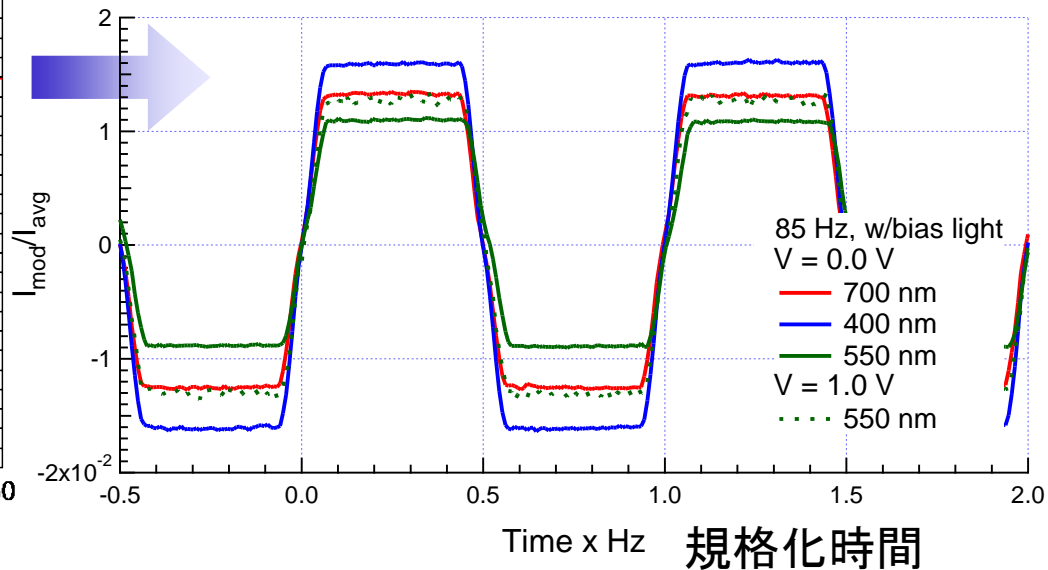
実験結果：ペロブスカイト太陽電池の光応答波形2

2) 白色バイアス光(1-Sun相当)照射時

バイアス光(1-sun相当) + 変調単色光



変調光成分のみ抽出・比較



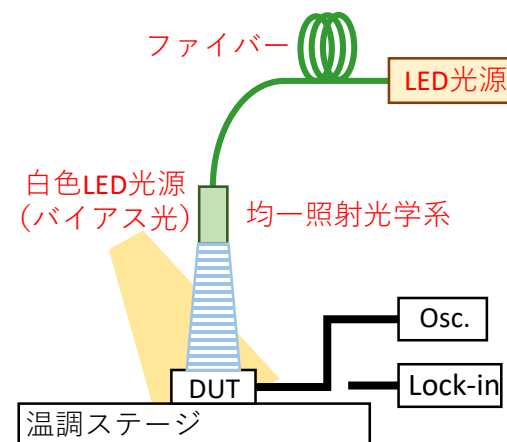
- 白色バイアス光照射下でも、変調周波数依存性ほとんどなし。
→ 光応答は、I-V測定で必要とされる掃引時間よりも十分速い

まとめと今後の展開

1. 新型太陽電池高精度性能評価技術開発状況(概要)を説明.
2. ペロブスカイト太陽電池の光応答に着目し、分光感度や光電流波形について調べている(継続中).
3. 今回測定したペロブスカイト太陽電池では、分光感度・光応答に変調周波数依存性(周波数 < 85 Hzの範囲)がほとんど見られなかった. I - V 特性の応答時間とは大きく異なる.

今後の展開:

- LED高速変調光源による過渡応答・時間分解測定法の開発
- 種々の新規太陽電池での光応答、光電流波形の基礎評価



繰返周波数: 10 kHz程度
 照射サイズ: > 10 x 10 mm²
 空間均一性: < ± 5%
 光強度: ~sub.-mW/cm² ~ mW/cm²

謝辞:

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託のもとに実施された. ここに関係各位に感謝いたします.

関連するポスター発表:

- 志村陽哉
「両面受光太陽電池の両面照射時における実測電流値の線形性」
- 佐々木あゆ美
「ペロブスカイト太陽電池の高精度性能測定手法の開発と検証」
- 上田孝
「太陽電池高精度性能評価へのLBIC測定の応用」