

CIGS太陽電池の 光照射下Dry Heat試験

太陽光発電研究センター
化合物薄膜チーム
西永慈郎、柴田肇

研究背景・目的

固定価格買取制度(FIT)に頼らない太陽光発電の実現

➡ 発電性能・コスト・信頼性の更なる向上が不可欠

発電コストの目標

	2015	2020	2030
発電コスト (円/kWh)	23	14	7
モジュール原価 (円/W)	60	50	30
運転年数 (年)	20	25	30
CIGS			
モジュール変換効率(%)	14	16	20
モジュール1枚あたりの製造費用(相対値)	1.0	0.87	0.71

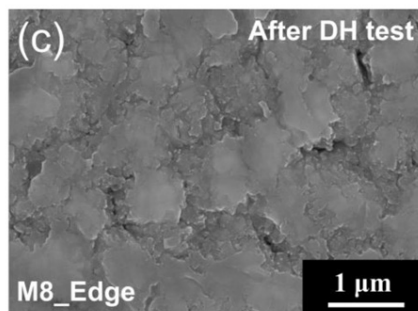
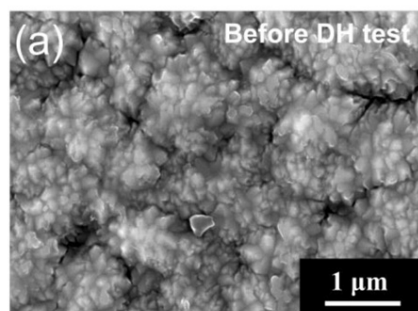
*産総研太陽光発電研究センター試算

ジェネレーション
パリティ (7円/kWh)
を達成するためには
運転年数も重要

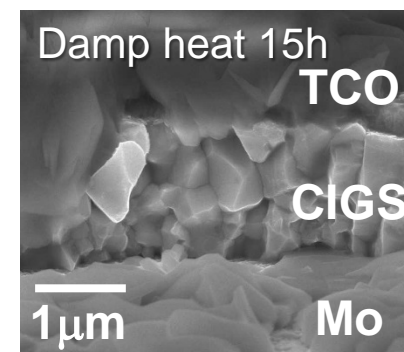
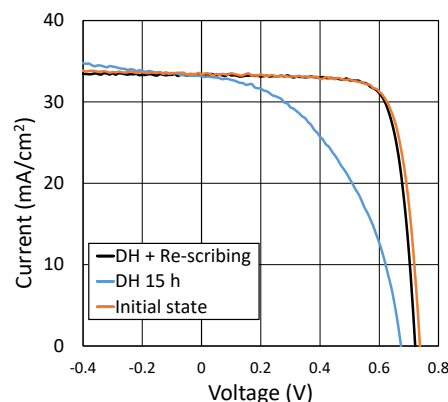
長期信頼性向上の
ため、劣化条件の調
査およびメカニズム
の考察を行う

CIGS太陽電池の長期信頼性の研究

- 封止劣化による水、酸素の混入¹ 高温多湿下 数千時間
- 暗状態加速劣化試験 (SF社)² 高温多湿下 数千時間
- PIDによるNaイオン拡散³ 高温下 数百時間
- (封止なし)スクライブ部の劣化⁴ 高温多湿下 数時間



Zn系透明導電膜が水の混入により
Zn(OH)₂に変化し、高抵抗化する¹



モリブデン酸化物が側壁を短絡させる⁴

[1] D.-W. Lee *et al.*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **105**, 15 (2012).

[2] 櫻井啓一郎 他, 第77回応用物理学学会秋季学術講演会(2016).

[3] S. Yamaguchi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 08KC13 (2015).

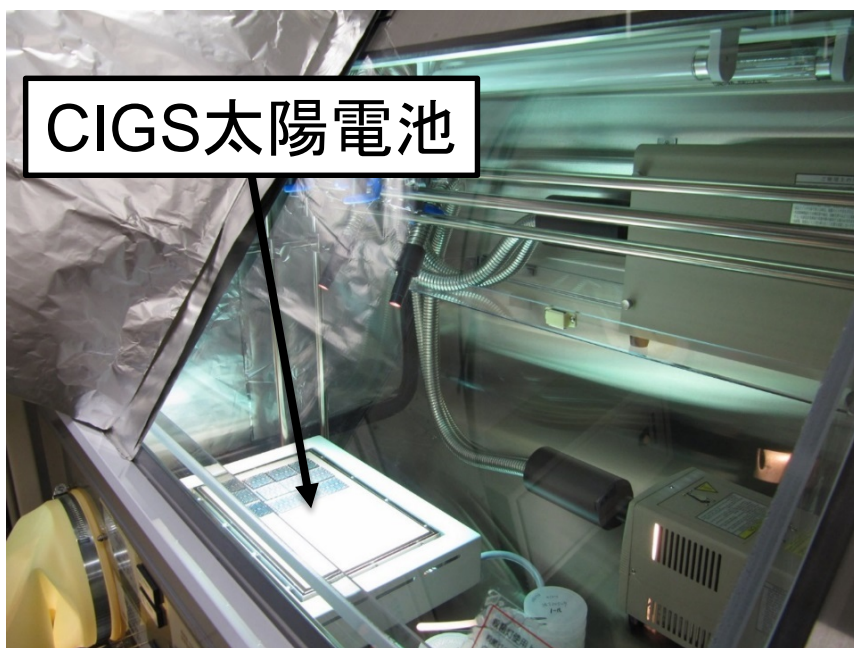
[4] J. Nishinaga *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 072301 (2016).

光照射Dry Heat、暗状態Dry Heat

Al Grid
ZnO: Al (Sputter) 350 nm
i-ZnO 60 nm CdS 50 nm
CIGS (MBD) 2 μm
Mo (Sputter) 0.8 μm
Soda Lime Glass Sub.

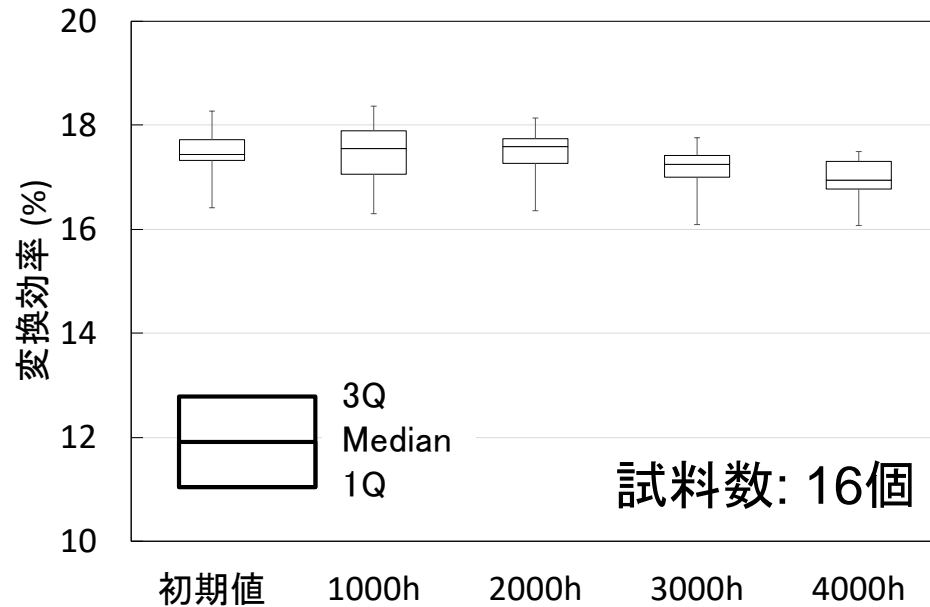
- 多元蒸着法
- 小面積セル
- 太陽電池特性
- キャリア濃度

- 乾燥N₂雰囲気
 - 露点: -50°C程度
(水蒸気圧: 10 Pa以下)
 - 残留酸素: 100ppm以下
- ホットプレート 95°C
 - 表面温度90°C(光照射)
 - 表面温度85°C(暗状態)
- 光照射
 - 50000 lx (0.5 Sun程度)
 - メタルハライドランプ
 - ハロゲンランプ
- 時間 4000時間まで
(実曝露時間との相関は未検証)

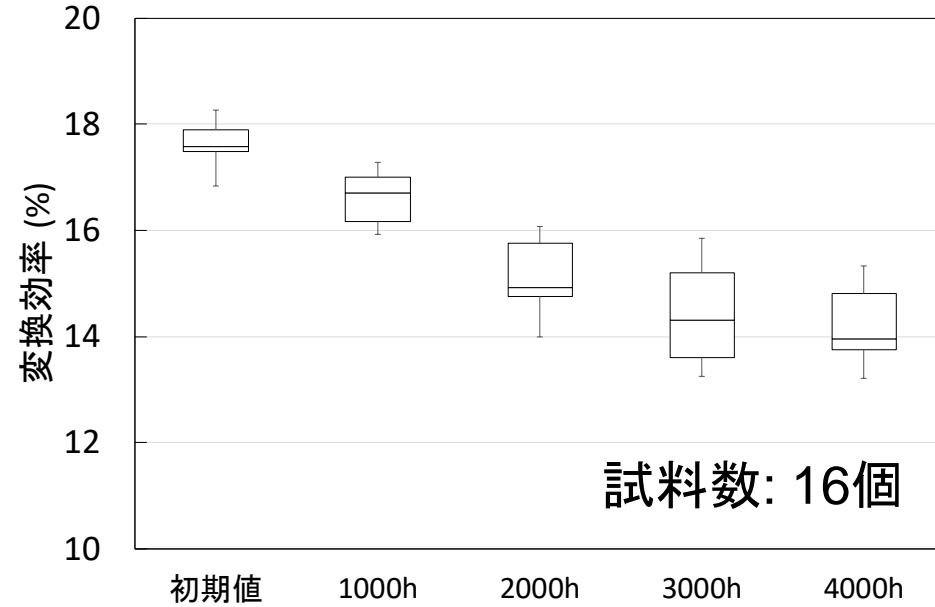


Dry Heat試験 4000時間

光照射Dry Heat

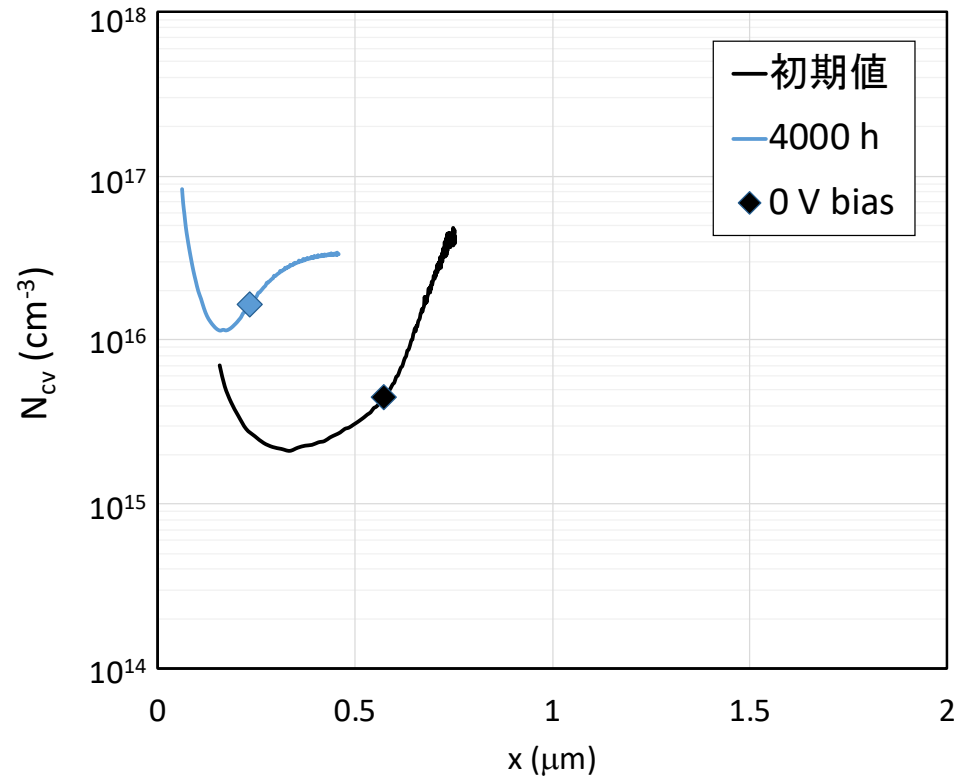
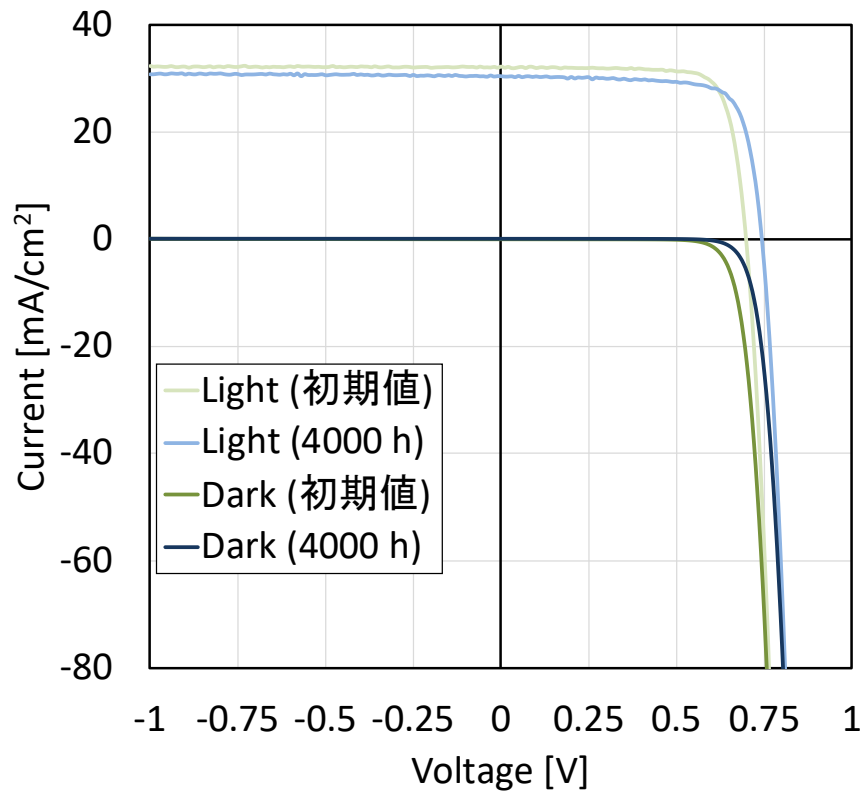


暗状態Dry Heat



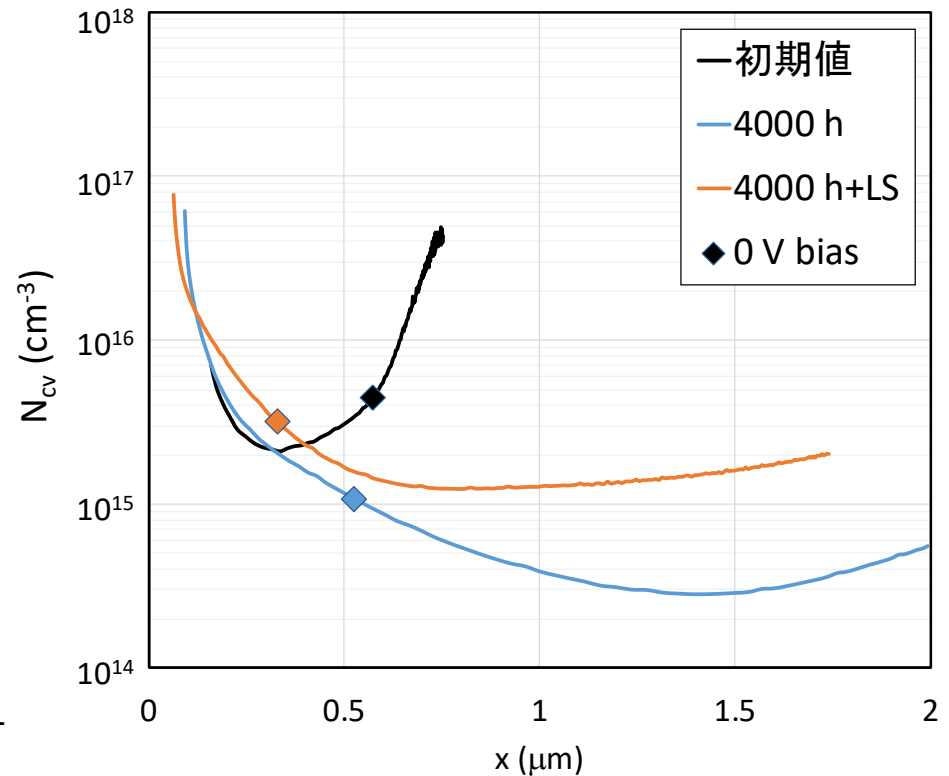
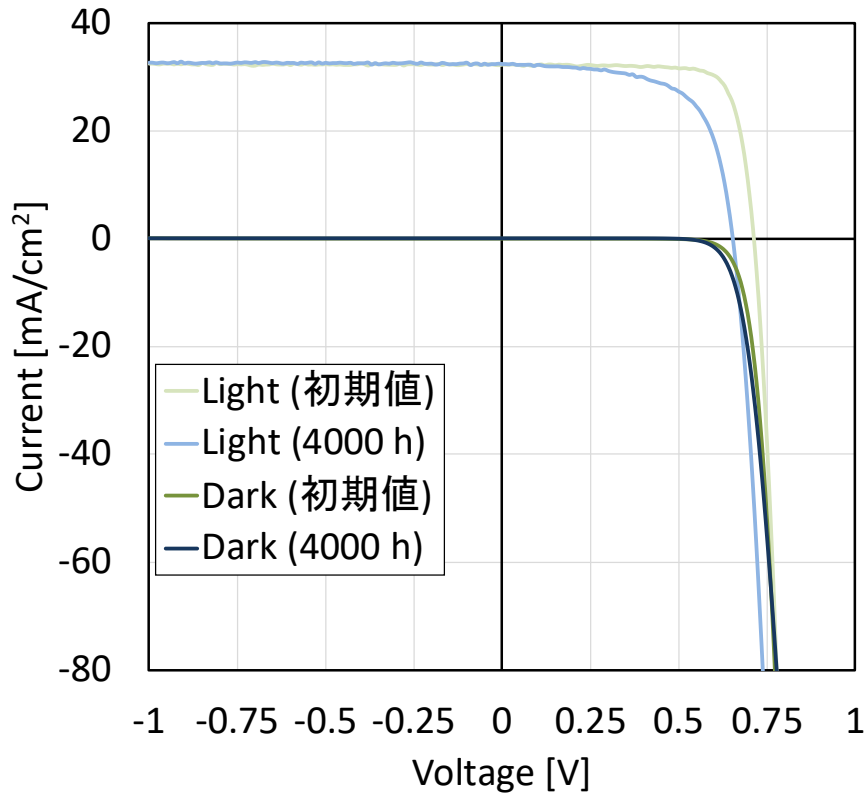
- 光照射下は変換効率低下が少なく、実環境に近いと考える
- 暗状態Dry Heatは、変換効率を大きく低下させる
- 高温(85°C)の暗所(実環境にはない)にて、保存は避けるべき

I-V曲線 (光照射 Dry Heat)



	Eff. (%)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	$R_{sh, dark}$ (Ωcm ²)	$R_{ser, dark}$ (Ωcm ²)	J_0 (mA/cm ²)	n
初期値	17.6	0.698	32.2	0.785	32000	0.25	1.2x10 ⁻⁸	1.25
2000 h	18.0	0.749	30.7	0.782	33400	0.23	2.4x10 ⁻⁹	1.25
4000 h	17.4	0.743	30.4	0.769	53000	0.29	1.5x10 ⁻⁹	1.22

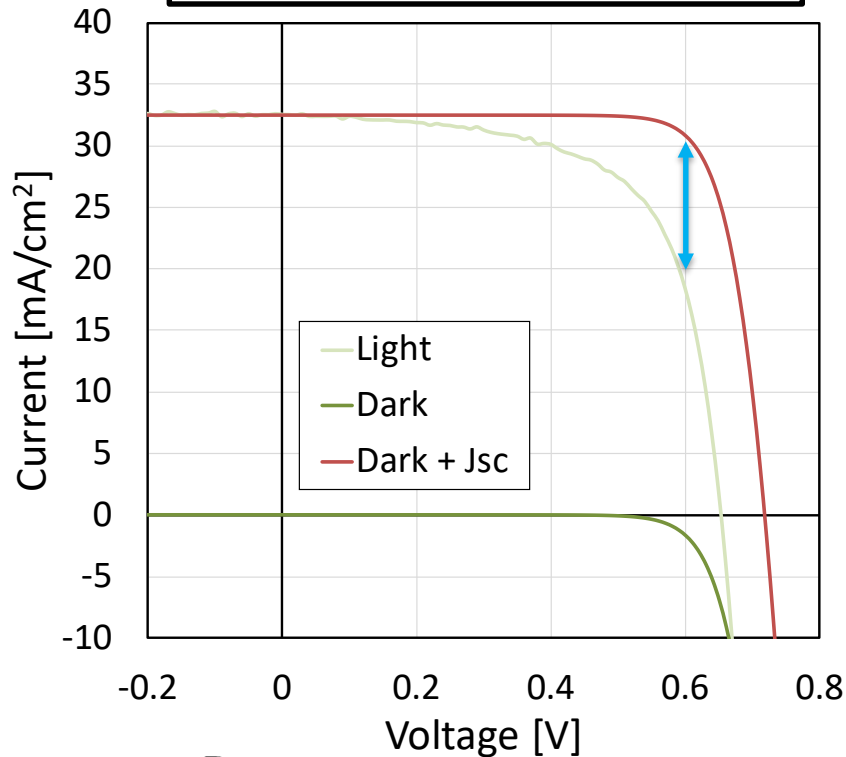
I-V曲線 (暗状態 Dry Heat + Light Soaking)



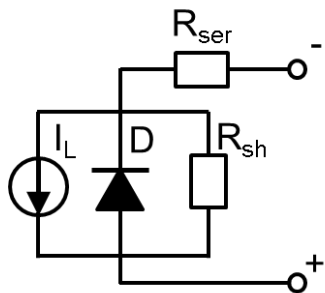
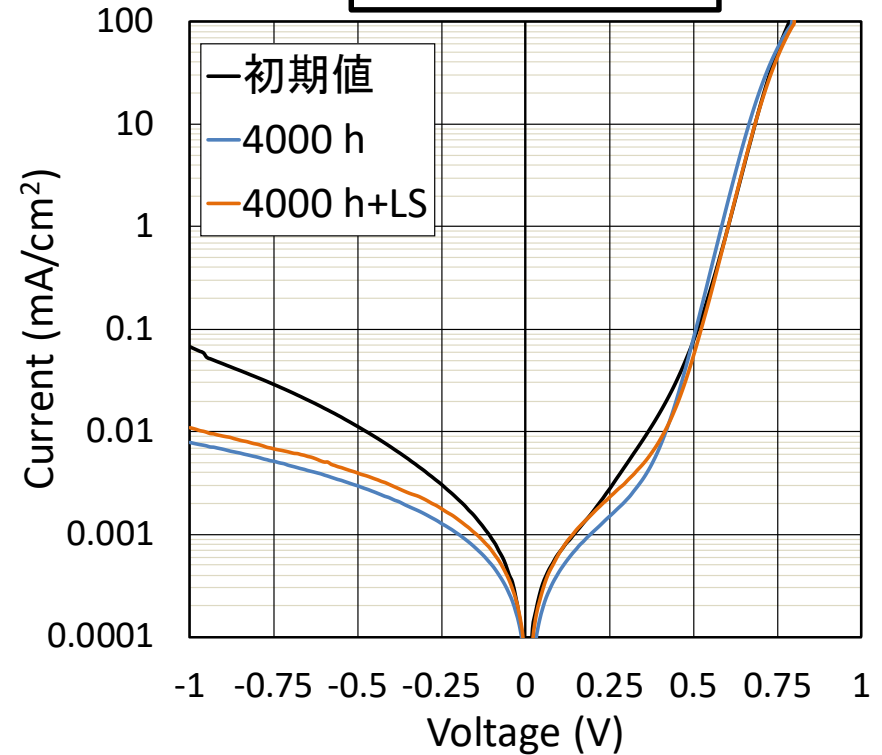
	Eff. (%)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	$R_{sh, dark}$ (Ωcm^2)	$R_{ser, dark}$ (Ωcm^2)	J_0 (mA/cm ²)	n
初期値	18.3	0.712	32.4	0.792	14000	0.23	1.4×10^{-8}	1.29
4000 h	13.8	0.653	32.5	0.650	187000	0.57	2.1×10^{-8}	1.27
4000 h + LS	16.4	0.701	32.5	0.717	124000	0.45	1.1×10^{-8}	1.27

考察: 暗状態 Dry Heat による劣化

暗状態 Dry Heat 4000 h



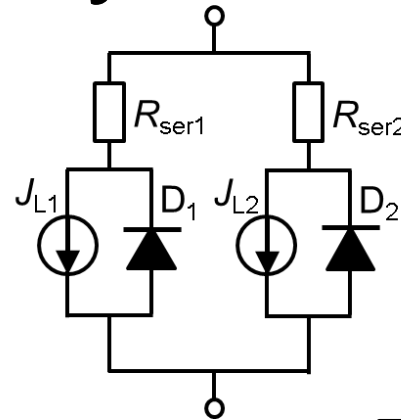
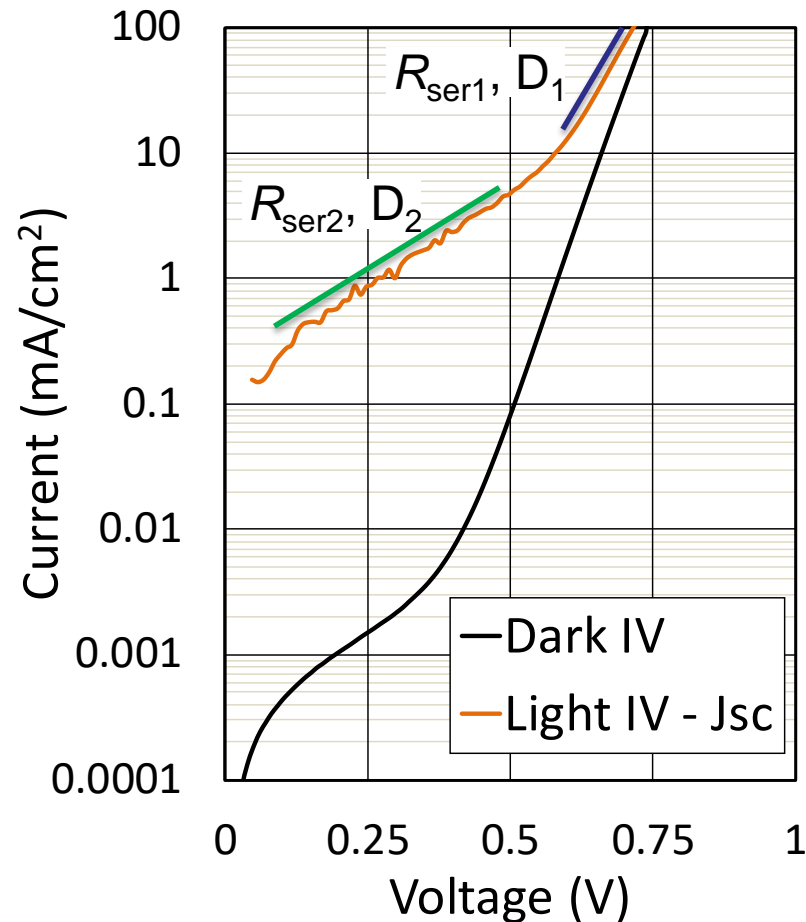
Dark I-V (log)



- Dark I-V を比較すると、ダイオードパラメータに変化なし
- FF の低下、 V_{OC} の低下を説明するモデルが必要

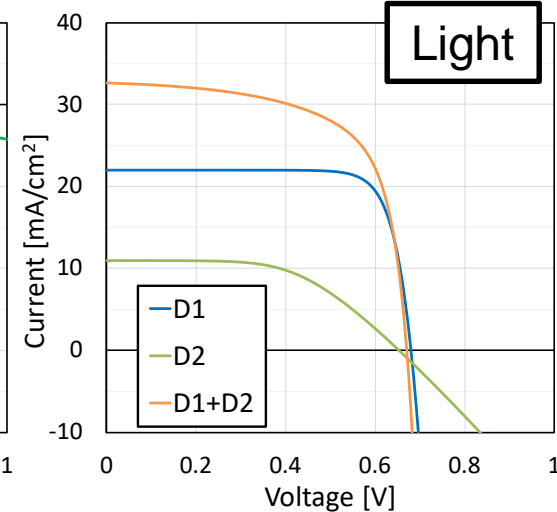
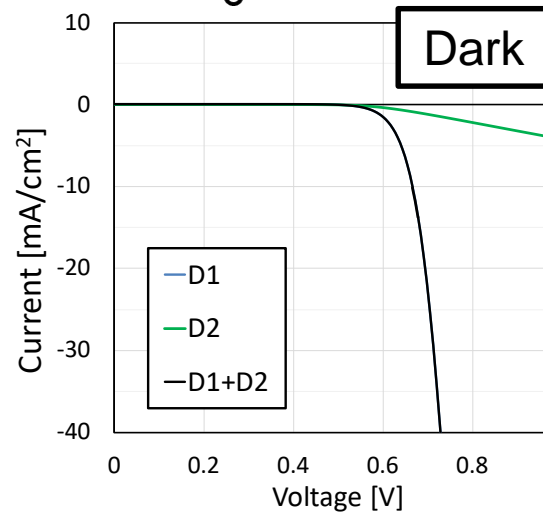
考察: 暗状態Dry Heatによる劣化

暗状態Dry Heat 4000 h



モデル: 面内に高い直列抵抗、再結合中心が多い部分が存在する

- $R_{ser1} \ll R_{ser2}$
- D_2 は再結合中心増加

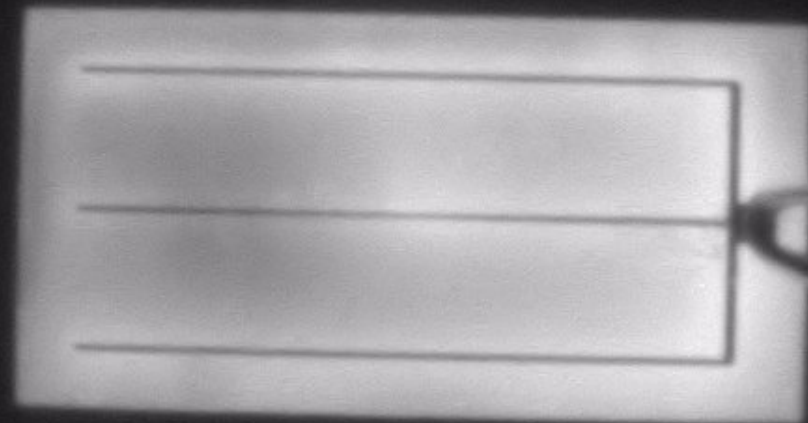


- Dark I - V では R_{ser1} , D_1 のみの特性が現れる
- Light I - V では劣化した部分によって、 V_{oc} ・FFが低下する

エレクトロルミネッセンス像

Light Dry Heat 4000 h

Dark Dry Heat 4000 h



η : 17.5%, FF: 0.763

$N_{cv} = 1.4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

η : 14.6%, FF: 0.699

$N_{cv} = 1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$

- 暗状態Dry Heatの試料は面内不均一性がある
- 今後は他の試験法(LBIC, SSRM etc.)も行い、キャリア濃度、劣化の起源を調査し、抑制法の提案を行う

まとめ

◆ 光照射Dry Heat試験

- 4000時間経過後も変換効率、キャリア濃度を維持
- 光照射Dry Heat試験は実環境の劣化に近いと考える

◆ 暗状態Dry Heat試験

- 実環境とは違い、変換効率の減少が大きい
- キャリア濃度が減少し、 V_{oc} ・FFが大きく減少する
- 劣化した試料も光照射を続けると、ある程度回復する