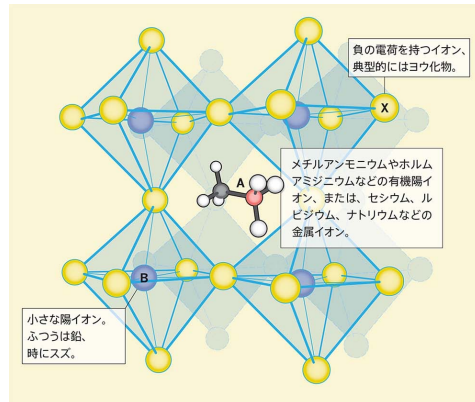


2beamを利用した 次世代のオペランド測定

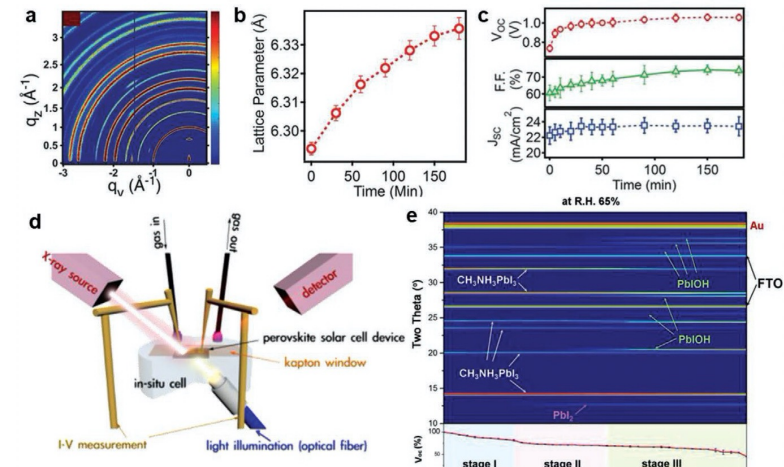
動的構造UG

ペロブスカイト太陽電池：動作下の機能性領域変化

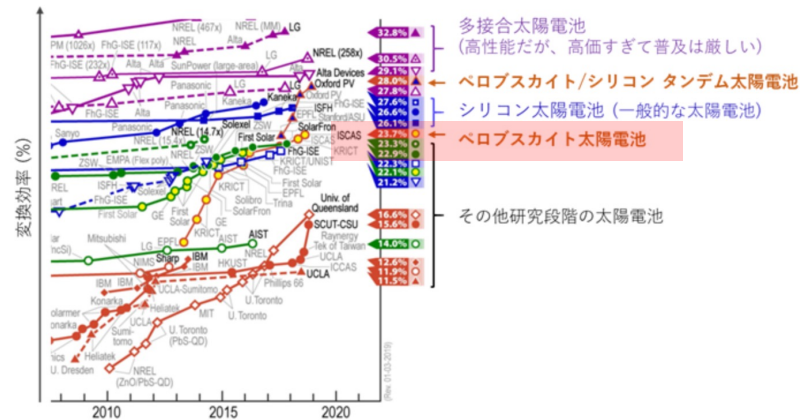
ペロブスカイト太陽電池：



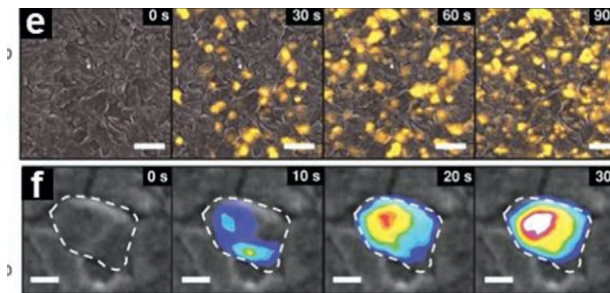
連続光照射による $\text{FA}_{0.7}\text{MA}_{0.25}\text{Cs}_{0.05}\text{PbI}_3$ の in situ GIWAXS



Adv. Energy Mater. 2020, 2001753



連続光照射によるハロゲン化物イオンの移動 (PL)



Adv. Energy Mater. 2020, 2001753

課題

平均的な状態変化の観測では、変換効率を考慮した改善指針を示すことが難しい

ナノイメージングにおける operand測定と、超高速時間分解測定を組み合わせることが必要

Need for Hybrid ring

Hybrid Ringで実現される2ビームを用いたオペランド測定

光エネルギー変換材料の開発段階（太陽電池・光触媒）

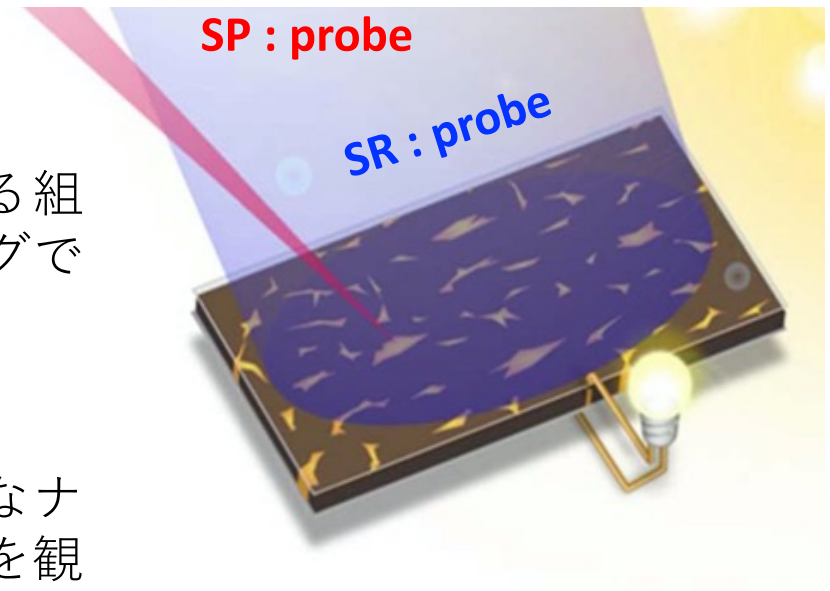
- 動作下における特性変化の解決 **[安定性・不可逆]**
- 光エネルギー変換効率の向上 **[機能性・可逆]**

SR : Operand計測（動作下の物性変化 [不可逆]

動作下において遅い時間スケールで進行する組成・構造・化学状態の変化をナノイメージングで計測（CXDI, SXTM, PEEM, etc）

SP : 超高速時間分解計測（過渡的な機能性 [可逆]

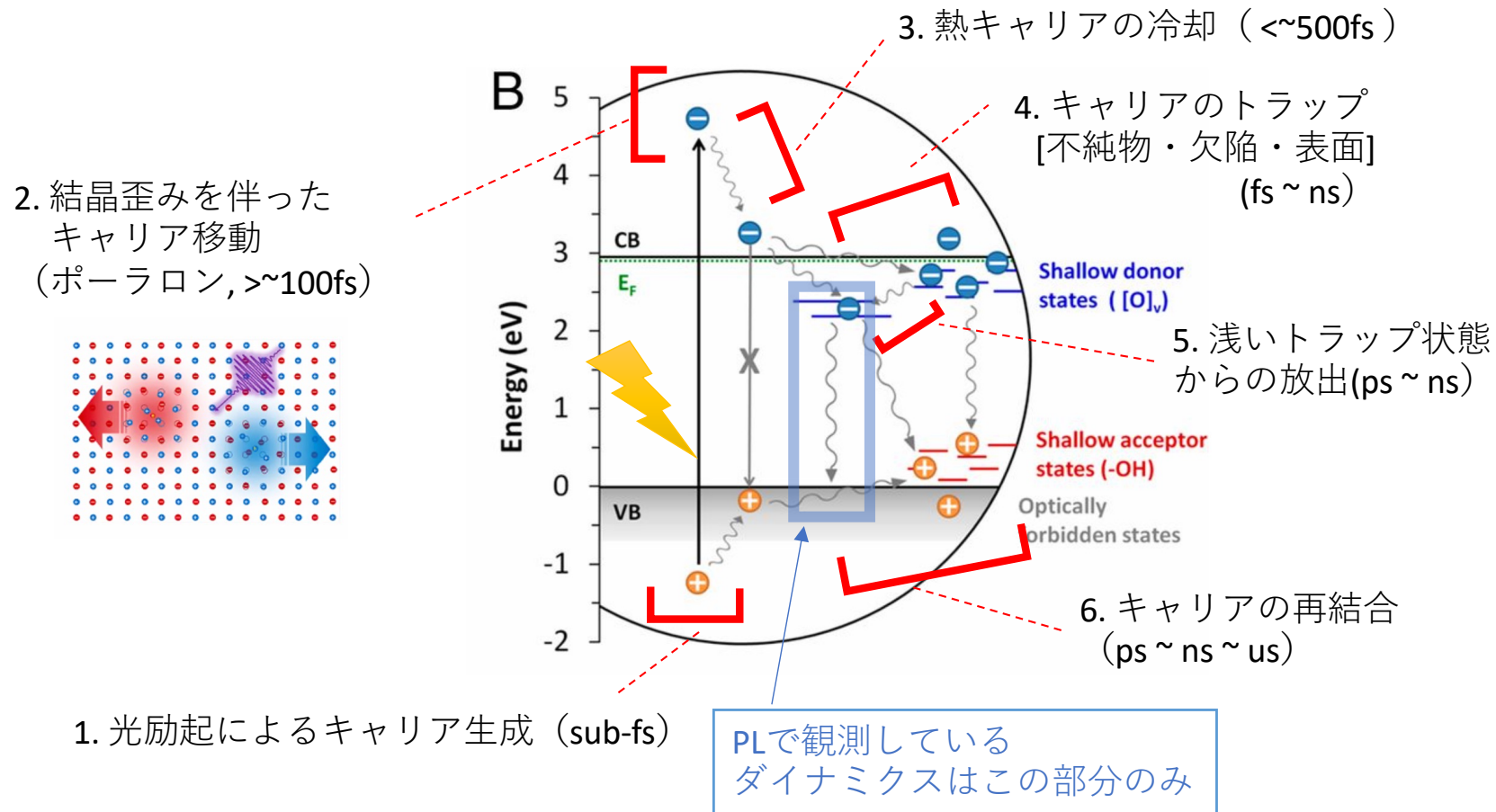
Operando計測によって可視化される特徴的なナノ領域に対して、機能性を担う過渡的な状態を観測（XAFS, XRD, etc）



Need for
Hybrid ring

不可逆性と可逆性が混在する系の計測

キャリア生成後のダイナミクスにより変換効率が決定



課題

どの領域の、何を改善すれば
キャリアが長寿命になるのか
明確な指針が無い。



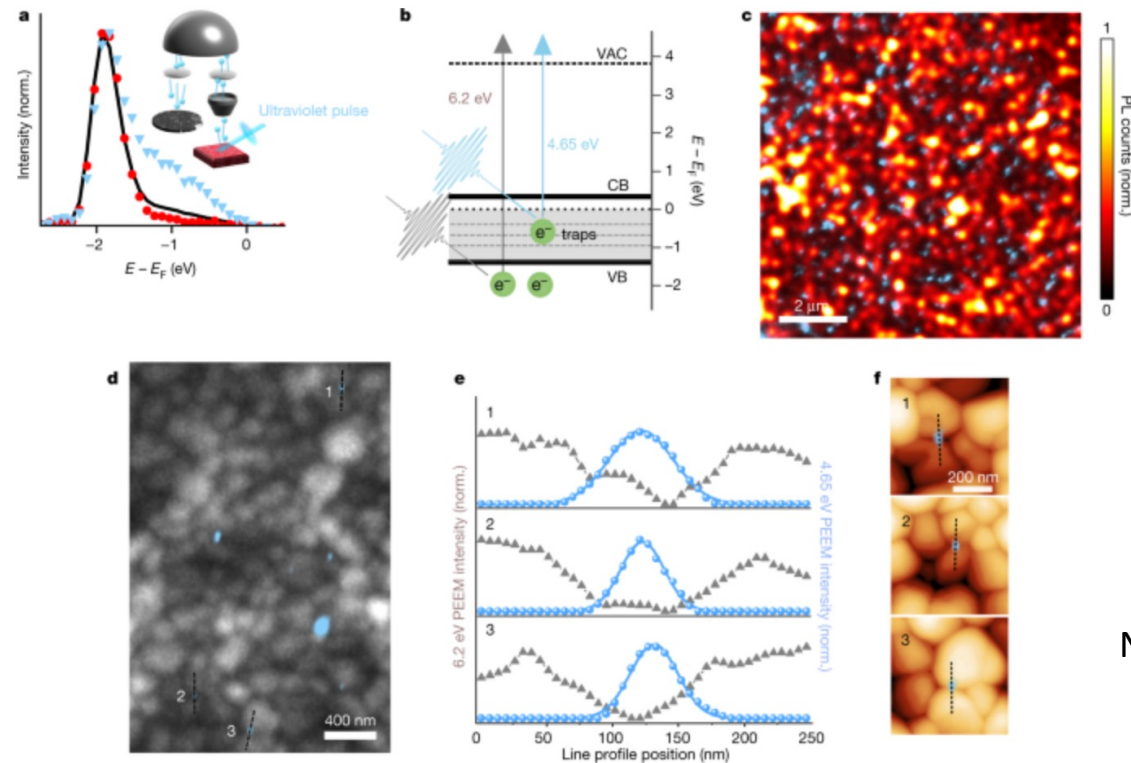
狙った空間領域の
広い時間領域における
キャリアダイナミクスの可視化が必要

Need for
Hybrid ring

fs-PEEMによるトラップ状態のナノイメージング_1

fs-PEEMにより光励起直後(~100ps)の電子トラップをナノイメージで可視化

Fig. 1: Photoemission electron microscopy revealing the spatial distribution of trap sites leading to non-radiative power losses.



2020,
Nature,
OIST

Need for
Hybrid ring

課題

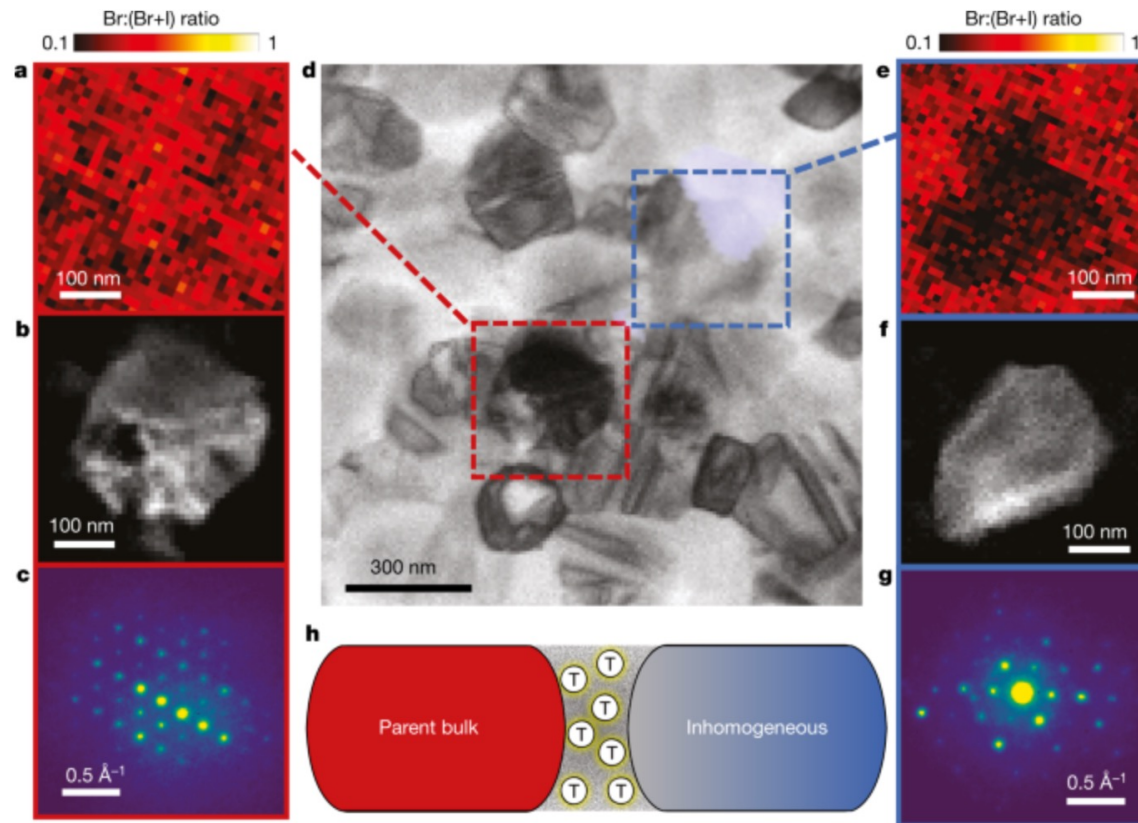
オペランド観測と時間分解計測
が同種のプローブだと、動作下
における空間状態変化が
十分に認識できない

多様な手法を用いて、空間・時間情報
をプローブする必要がある

fs-PEEMによるトラップ状態のナノイメージング_2

ハロゲンの偏析が有る粒子と無い粒子の中間領域（静的観測）に電子トラップ状態がある

Fig. 3: High-resolution diffraction and compositional properties of nanoscale trap-rich heterojunctions.



2020,
Nature,
OIST

Need for
Hybrid ring

課題

静的な空間情報は、
動作中の空間情報と異なる



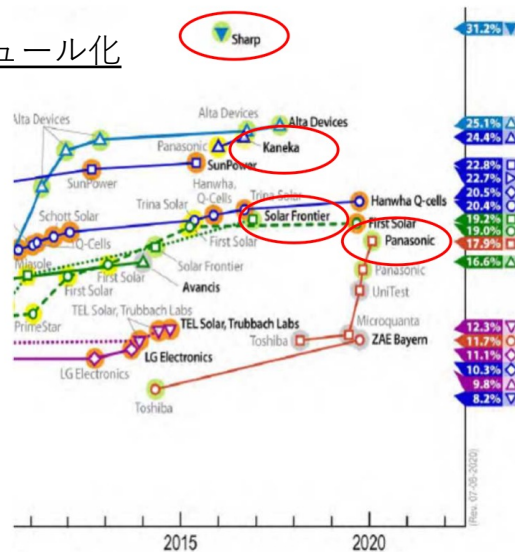
動作中の空間変化をモニターしながら、
キャリアダイナミクス全体の測定が必要

「開発と実用化が同時並行で進んでいる分野」において求められる観測技術 ^{7/8}

高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発

企業連携によるモジュール化

NRELのモジュールチャートにはシャープ(Ⅲ-V)、カネカ(シリコン)、ソーラーフロンティア(CIS)、パナソニック(ペロブスカイト)が記載されている。(出展:NREL)



◆研究開発の進捗管理

進捗報告会	主な指導内容（中間評価以降）
結晶シリコン太陽電池①、③	(2018年1月) 実用化に向けた開発スケジュール をより明確にしてください。 (2018年10月) オリジナル技術の 出口イメージ を出してほしい。企業との連携を進めてほしい。 (2020年2月) 企業は実用化・事業化を見据えた技術開発、大学・国研は開発した技術の 出口イメージ ができる成果につながる研究開発をお願いしたい。
CIS太陽電池①、③	(2018年2月) 小面積でEfficiency Tableに掲載できるデータなど、良い成果が得られている。研究レベルは高いが、 各機関の横のつながり が見えない点については改善を求む。 (2020年2月) 今回のプロジェクトのアウトカムをより明確に打ち出してほしい。 軽量化、軽量を生かした展開 への取り組みとアピールもあると望ましい。
Ⅲ-V族②	(2018年10月) HVPEの高速成膜やELO基板再生などの 低コスト化プロセス について、実用化に向けたコスト計算を絶対値で示すべき。 車載やZEB などⅢ-V太陽電池を使うストーリーを用意すべき。 (2020年2月) モジュール効率30%以上の達成やELO剥離技術、高速成膜技術など多くの進捗が見られた。展開できるものから適用して早期の実用化、事業化につなげていただきたい。
ペロブスカイト②	(2018年1月) 高効率化 への寄与が期待できるカリウムドーピングの汎用性について明確にすべき。 (2020年1月) 小面積セルの変換効率24.4%は非常に評価できる。 大面積セル、モジュールでの高効率化、光劣化現象要因 の明確化が課題であるとする。
共通基盤④	(2018年2月) 寿命予測ならびに試験法の開発で得られた知見をもとにPID劣化が起きないモジュール開発に向けた提案を検討して欲しい。

課題

動作下における「高効率化」と「性能劣化」の要因解明が行えるプローブが無い

モジュール動作下における挙動解析と原子レベルの科学的な知見が同時に得られる手法が必要

Need for Hybrid ring

まとめ

2ビーム利用は必要ですか？

不可逆性と可逆性が混在する系の計測が可能になります。

社会的な価値はありますか？

2ビームを利用する次世代のオペランド計測は、カーボンニュートラルの実現に向けた、太陽電池や光触媒等の製品開発において、不可欠な観測技術となります。