

# 実験概要

## Monarc Pro CLシステムとEDAX Octane Elite Super検出器

### タイトル

エネルギー分散型X線分析とカソードルミネッセンス分光法による太陽電池中の微量元素の定量分析

### 測定装置

Monarc<sup>®</sup> Proカソードルミネッセンス (CL) システムとEDAX Octane Eliteエネルギー分散型X線分析 (EDS) 検出器によりスペクトラムマッピングを同時収集し、組成や結晶構造を正確に分析することができます。

### 背景

薄膜太陽電池の採用は、政府のエネルギー削減計画にとって重要です。一方、デバイスの組成と結晶構造をより深く理解し、制御することによって、これらのデバイス (例えば、CdTe/CdSeTe) の効率を向上させる大きな余地がまだ残されています。しかし、これらの材料を包括的に評価可能な単一の手法は存在しないため、EDSとCLの発光技術を使用し複数の手法により分析が必要です。我々は、EDSとCL 分光データを同時に収集ならびに解析し、Seの分布を微量レベルまで明らかにする新しい方法を提案します。

### 試料と手法

走査型電子顕微鏡 (SEM) に搭載されたEDAX Octane Elite Super EDS検出器とMonarc Pro CLシステムを使用して、CdTe/CdSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> 多層太陽電池(2500/500 nm厚さ)を分析しました。角度7°の集束イオンビームミリングによって調製された30 x 40 μm断面のスペクトルイメージ (ハイパースペクトルマップ) を同時に収集しました。EDS同時分析が可能なMonarcシステム用集光ミラーを使用して、効率的なワークフローが可能になりました。分析は、EDAX APEX EDSソフトウェアの高度な分析エンジンを使用する DigitalMicrograph<sup>®</sup> ソフトウェアで実行されました。

EDSマップから、Se が不均一な横方向分布で CdTe 層に拡散していることがわかります。ただし、Se 濃度は接合部から約2μm以内で最小検出限界を下回ります。結晶粒の構造を明らかにする CL マップと比較すると、Se の拡散が粒界に沿って多くなっています。さらにEDS と CL (式1を使用して CdSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> の電子バンドギャップを決定) によって決定されるSe 分布の間には良好な相関関係が確認され、CLでは接合部から垂直方向最大 5 μm、濃度0.5 at%以下までSeの拡散が明らかになりました。

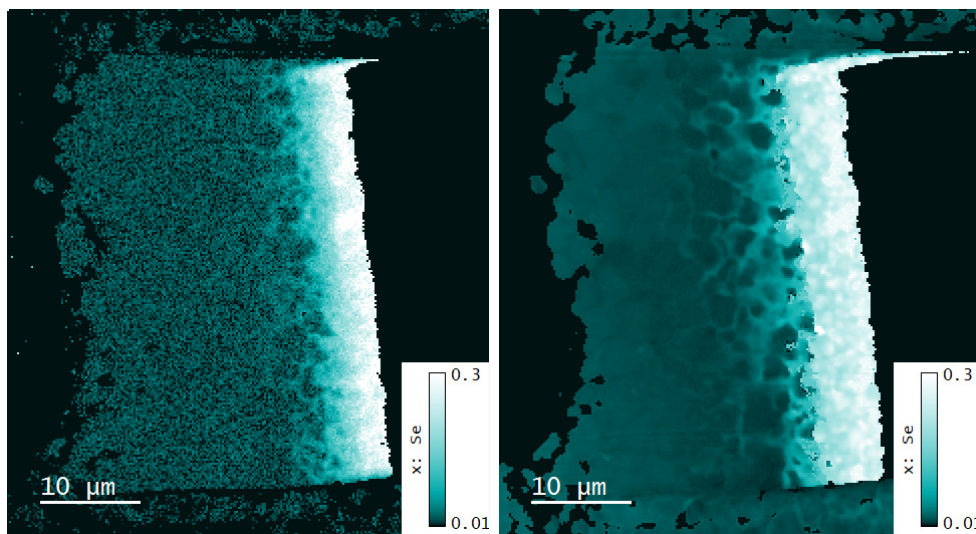


図 1. EDS (左) とCL (右) によって測定された Se/Te の比率。左 (上面) から右 (基材) に向かってミリングされた表面。CL によって決定された組成は、NLLS 分析によるピーク位置に基づいており、 $b = 0.725$  eV のボーイング係数を仮定して発光波長 (バンドギャップ) を CdSeTe 合金組成に関連付けるために  $E_g(x) = (1-x)E_{g_{CdTe}} + xE_{g_{CdSe}} - bx(1-x)$  を使用しました [1]。

### 謝辞

試料を提供して頂いたProf. M Walls, Professor of Photovoltaics for Power Systems in the Centre for Renewable Energy Systems Technology (CREST) at Loughborough Universityに感謝いたします。

Gatan, Inc. は、試料作製から像観察や分析までの電子顕微鏡の能力を拓ける装置とソフトウェアの世界トップレベルのメーカーです。

### まとめ

CLとEDS信号は同時に収集され、両手法の完璧なピクセル位置合わせが可能になりました。

元素の定量はEDSで行い、粒界と微量元素マップはCLで確認しました。この同時収集は、どちらかの手法を単独で使用するより明確な利点があります。EDSとCLは互いに補完し合うことで、どちらか一方の技術だけでは検出限界以下またはそれに近い元素の定量分析も可能になり、より完全な分析を実現します。

### 参考文献

[1] J Yang, et al., Chinese Physics B: Rapid Communication 28 086106 (2019).