



光エネルギーデバイス研究室

長岡技術科学大学 電気電子情報工学専攻 准教授 田中久仁彦
URL: <http://femto5.nagaokaut.ac.jp> E-mail: tanaka@vos.nagaokaut.ac.jp

本研究室では**環境に優しく安い太陽電池の作製を目標としています**。そのため以下の条件を満たす太陽電池の作製を目標に研究しています。

- ①地球上に豊富にある元素のみを用いる=貴重な資源を用いない, 安価。
- ②毒性の高い物質は使用しない。
- ③大気圧下で作製する: 真空装置は非常に高価。

2016年11月現在は大まかに分けて以下の4つの研究を進めています。

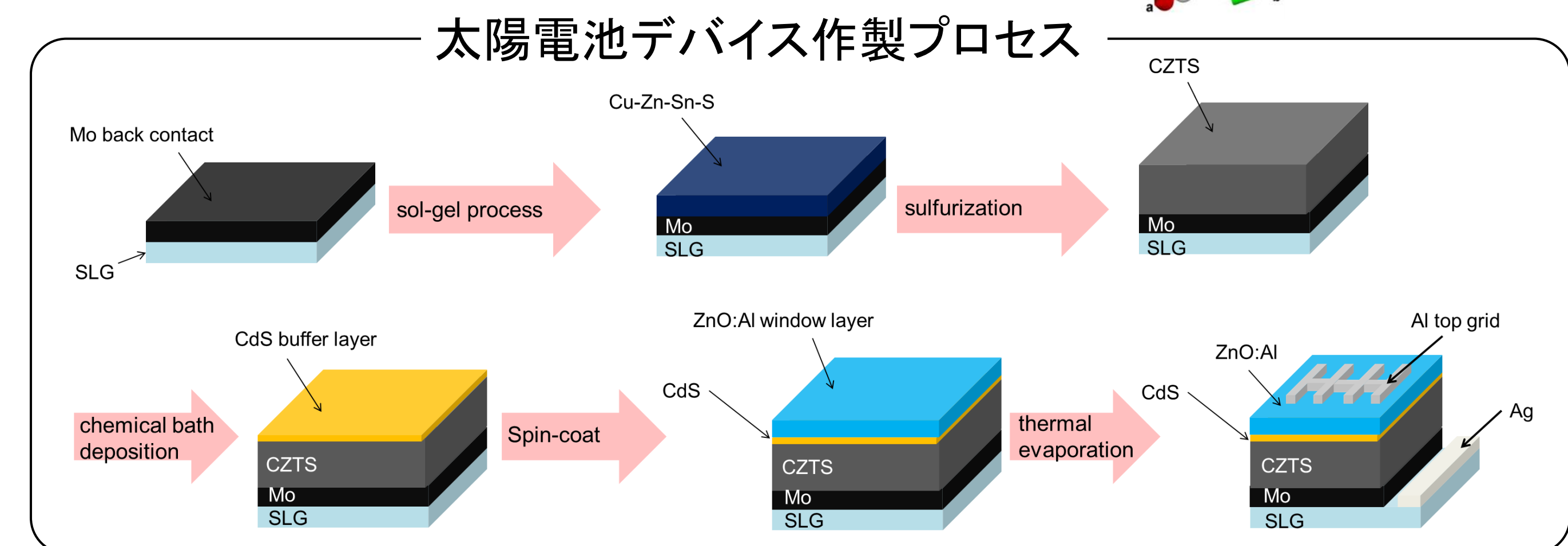
Cu₂ZnSnS₄(CZTS)薄膜太陽電池の作製

CZTSは以下の特徴をもつp型半導体。

- ✓ **環境に優しい材料である**
地殻中に豊富に存在し安価。
汎用無毒性元素で構成されている。
(ちなみに十円玉はCu, Zn, Snでできている)

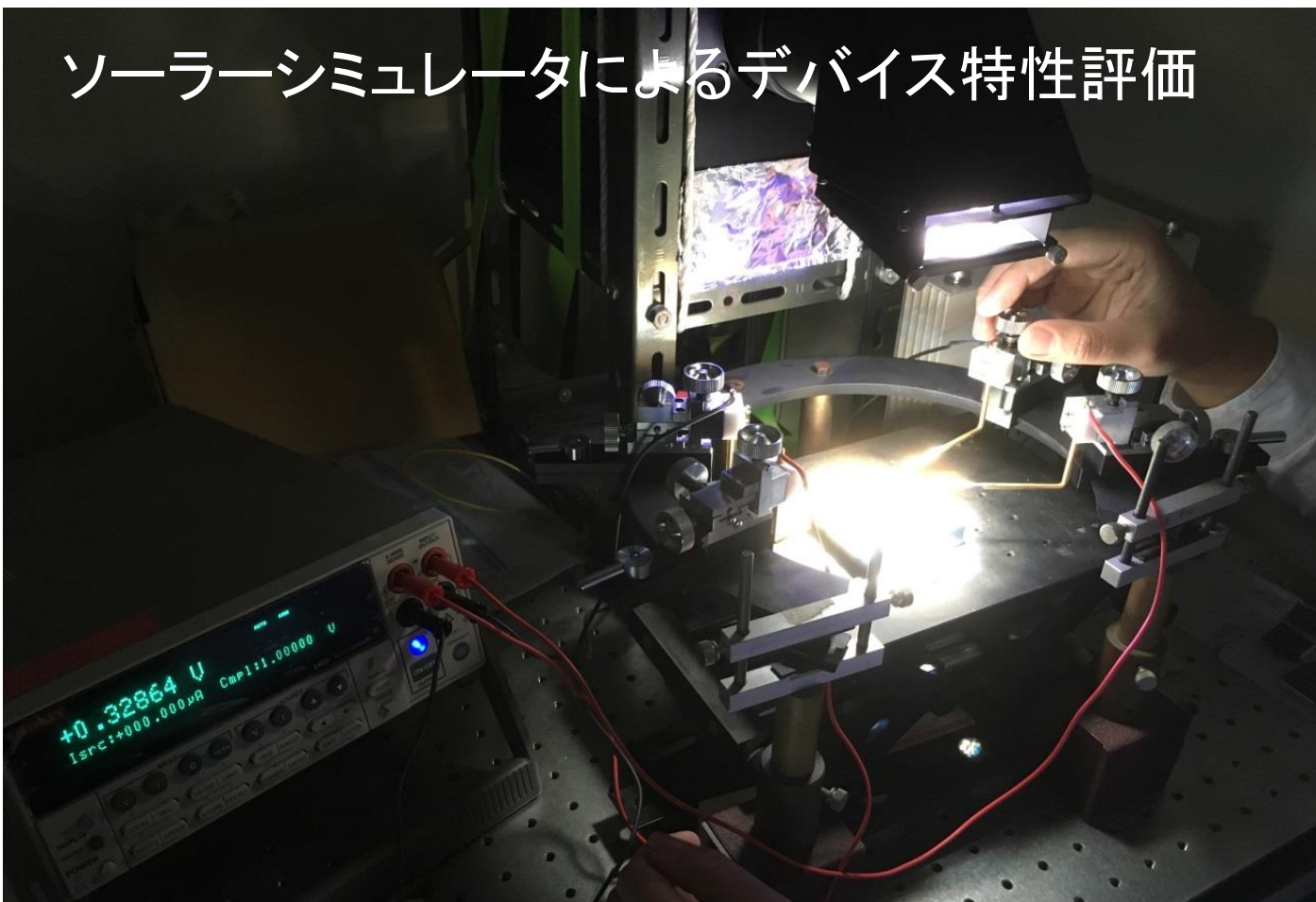
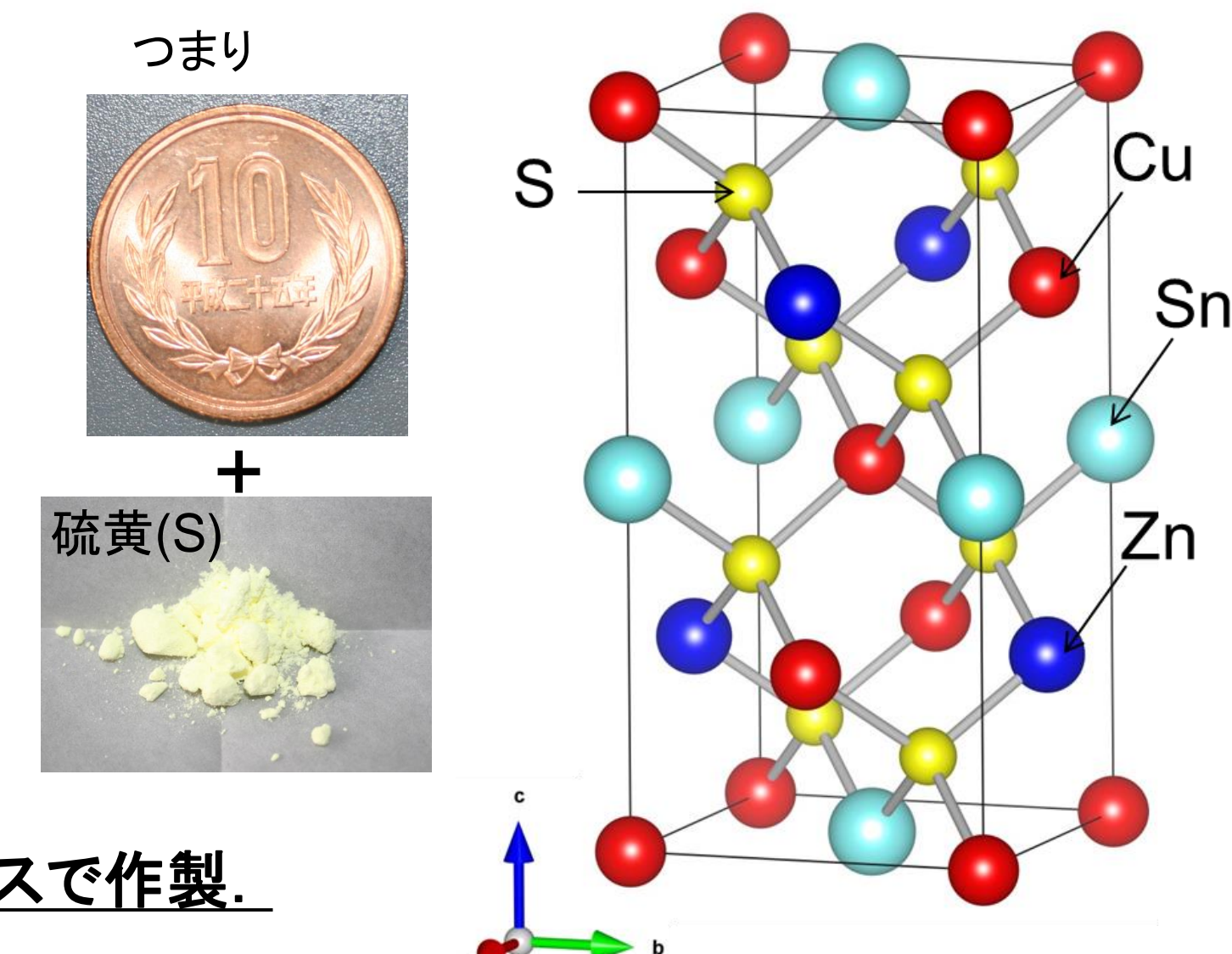
- ✓ **単接合型太陽電池に最適な光学特性**
光吸収係数が可視域で 10^4 cm^{-1} 後半。
→薄膜化が可能→低コスト
バンドギャップ $E_g \sim 1.45 \text{ eV}$ 。

本研究室では**CZTS太陽電池を非真空プロセスで作製**。



本研究室の現在のトップデータ	
変換効率(%)	4.13
開放電圧(V)	0.585
短絡電流密度(mA/cm ²)	18.0
曲線因子(-)	39.2

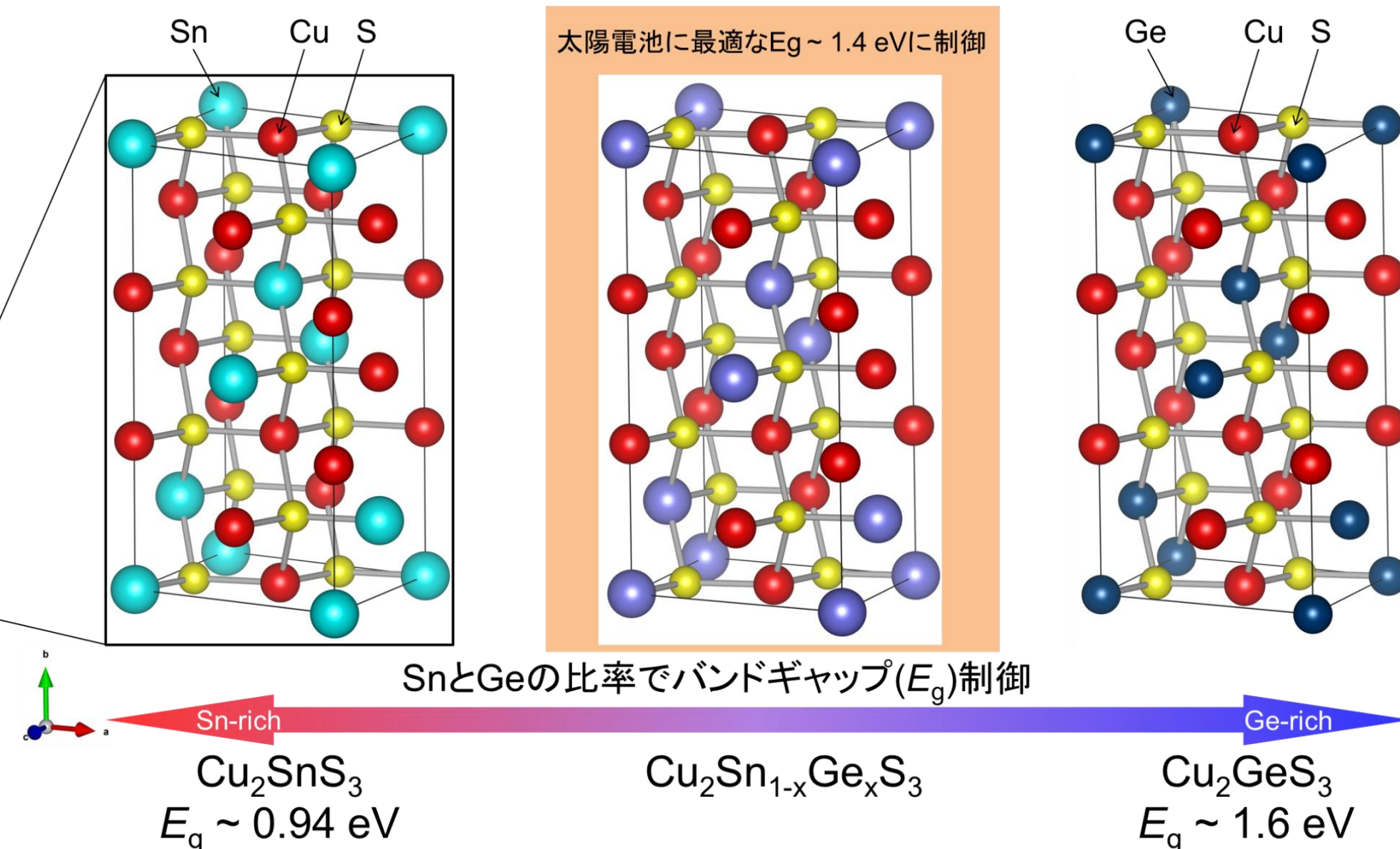
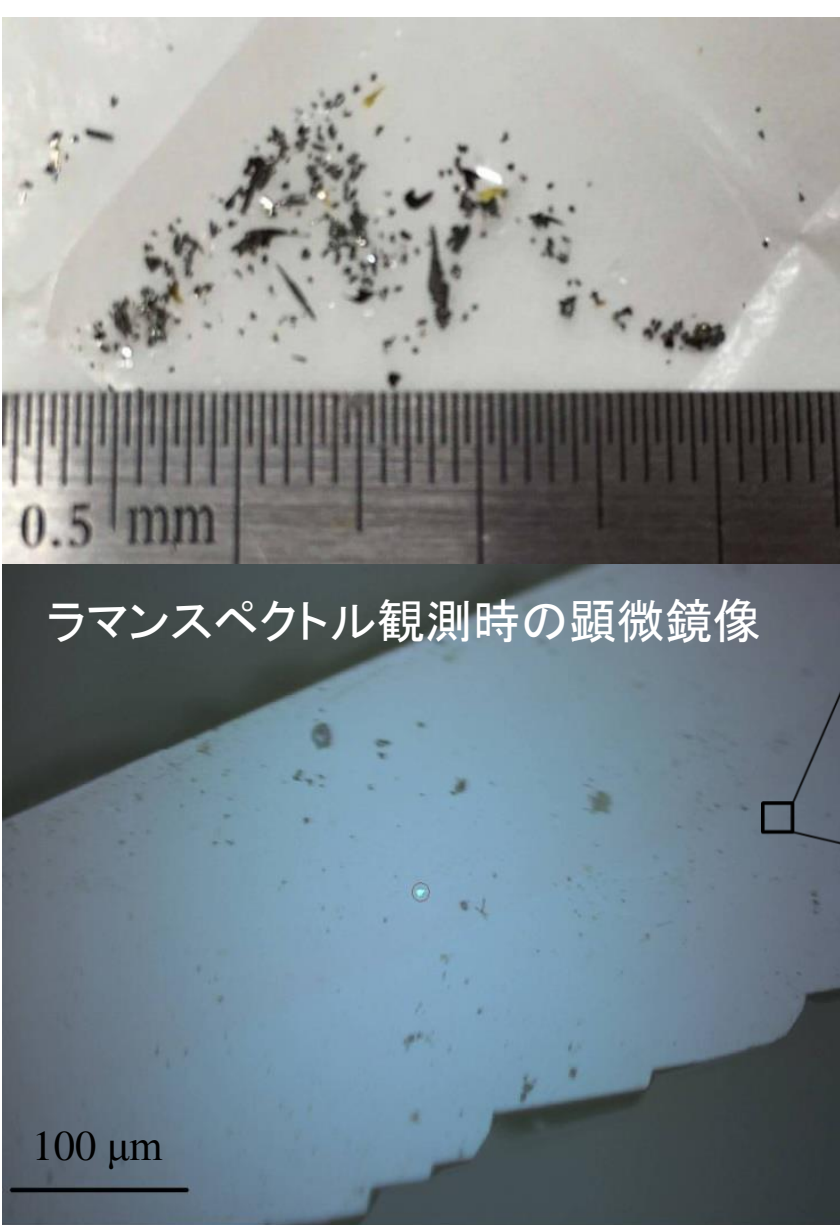
原料溶液に使用する薬品や, 添加剤,
原料溶液の製膜条件を検討して太陽
電池の高効率化を目指している。



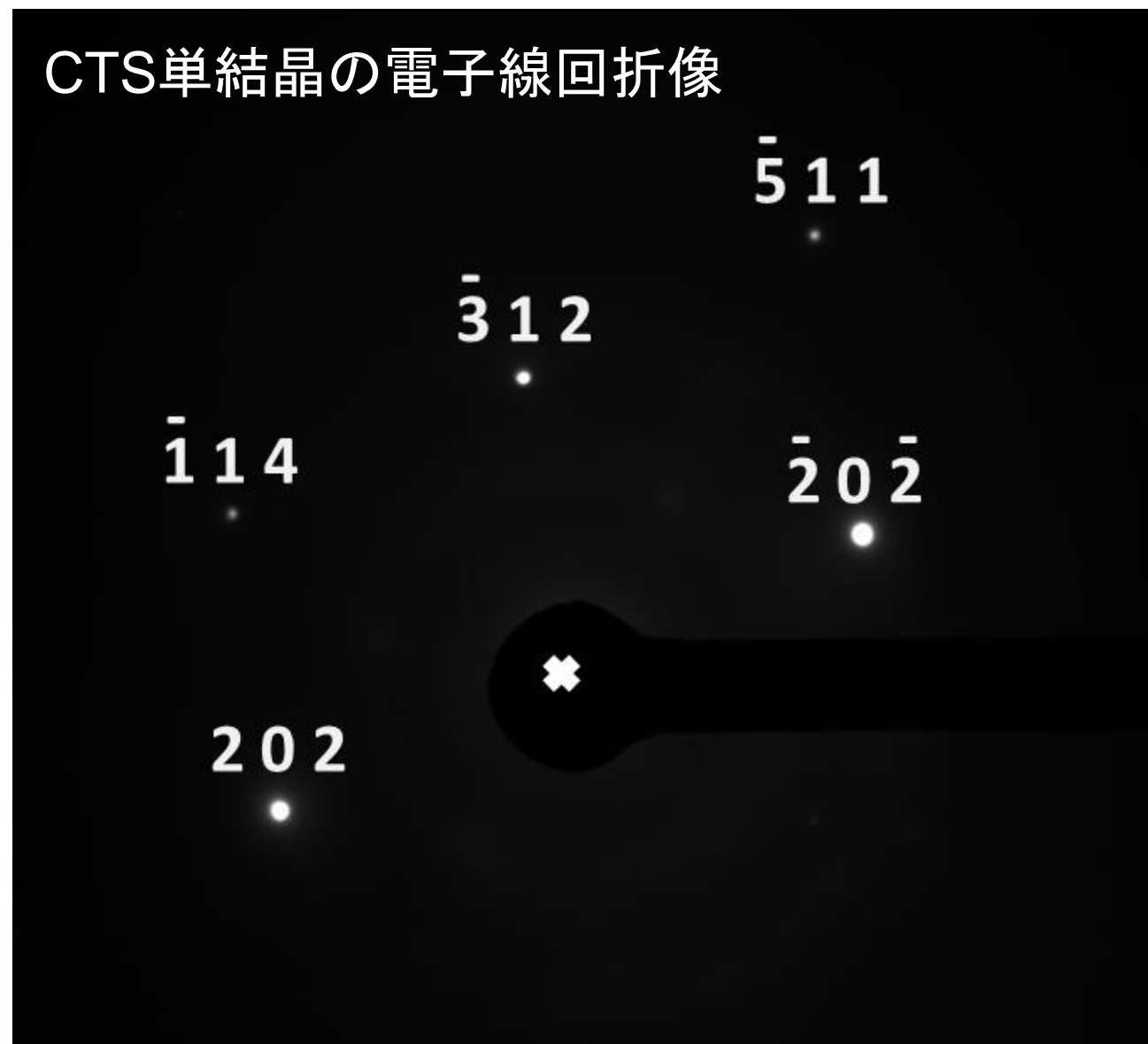
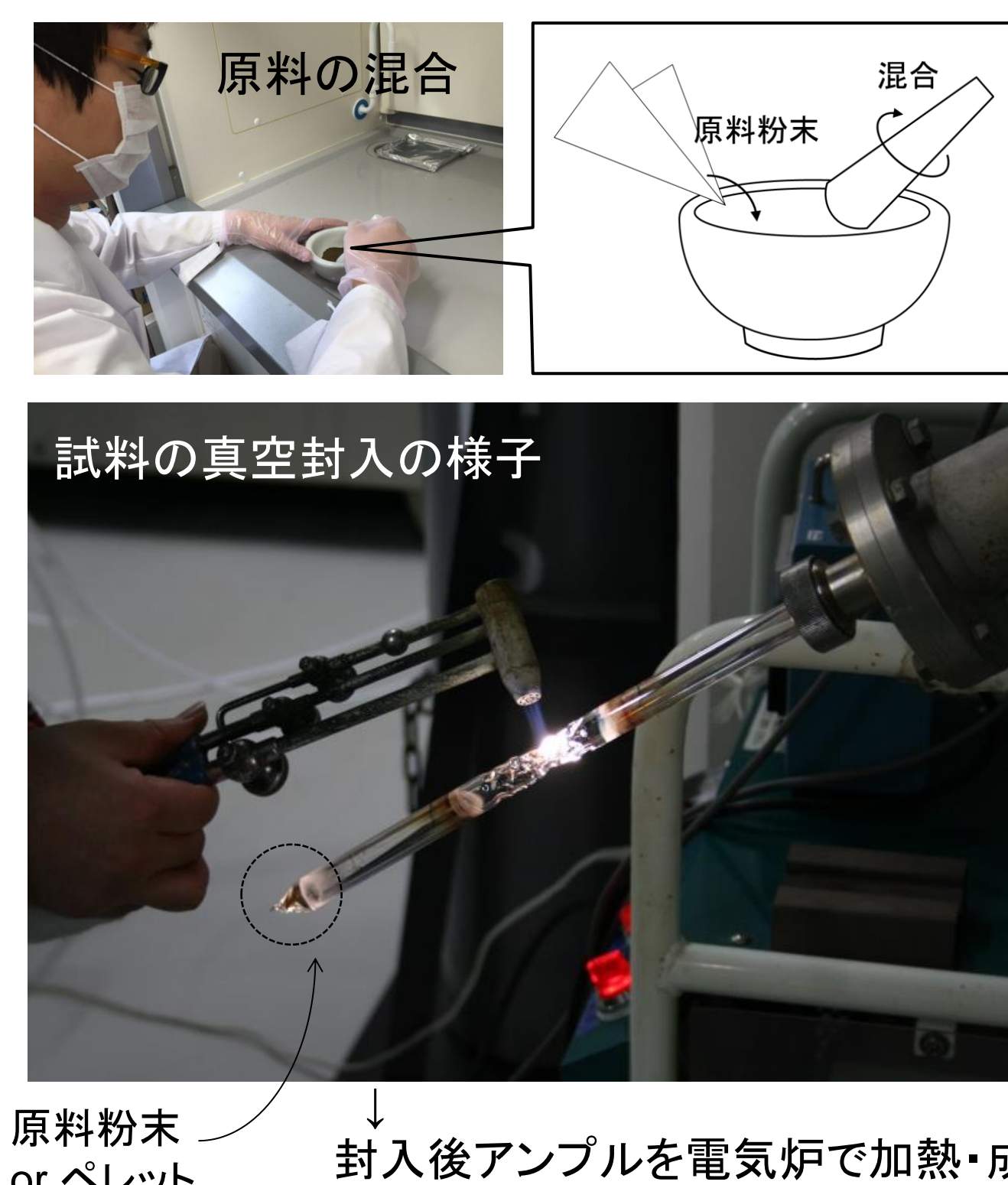
太陽電池材料の単結晶・多結晶成長

主に発光観測用の単結晶を作製している。現在までにCu₂SnS₃ (CTS)とCu₂GeS₃ (CGS)の単結晶成長法を確立した。これらの材料は固溶体を形成し, SnとGeの比率を変えることで, バンドギャップを 約0.94~1.6 eVの間で制御でき, 太陽電池に最適なバンドギャップを実現できるため, 非常にポテンシャルの高い光電変換材料として着目している。

ヨウ素輸送法により得られた
CTS単結晶の外観



具体的には目的結晶の原料を混合し, 石英アンプルに封入後, 電気炉で加熱し結晶成長を行う。
得られた結晶に対して各種分析を行い, 物性評価を行う。

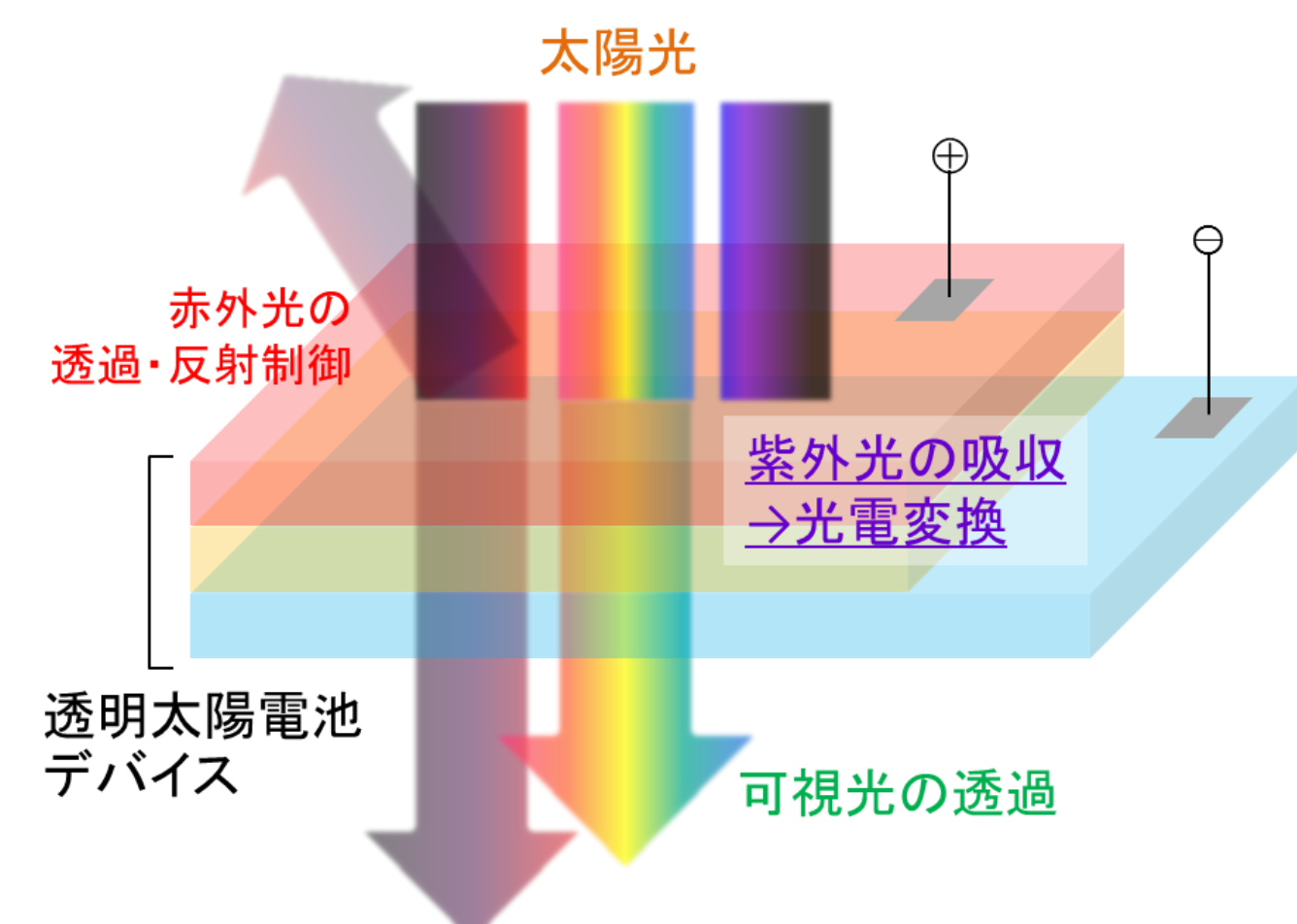


TEM以外にもラマン分光法, EPMA
等により結晶の諸特性を評価する。

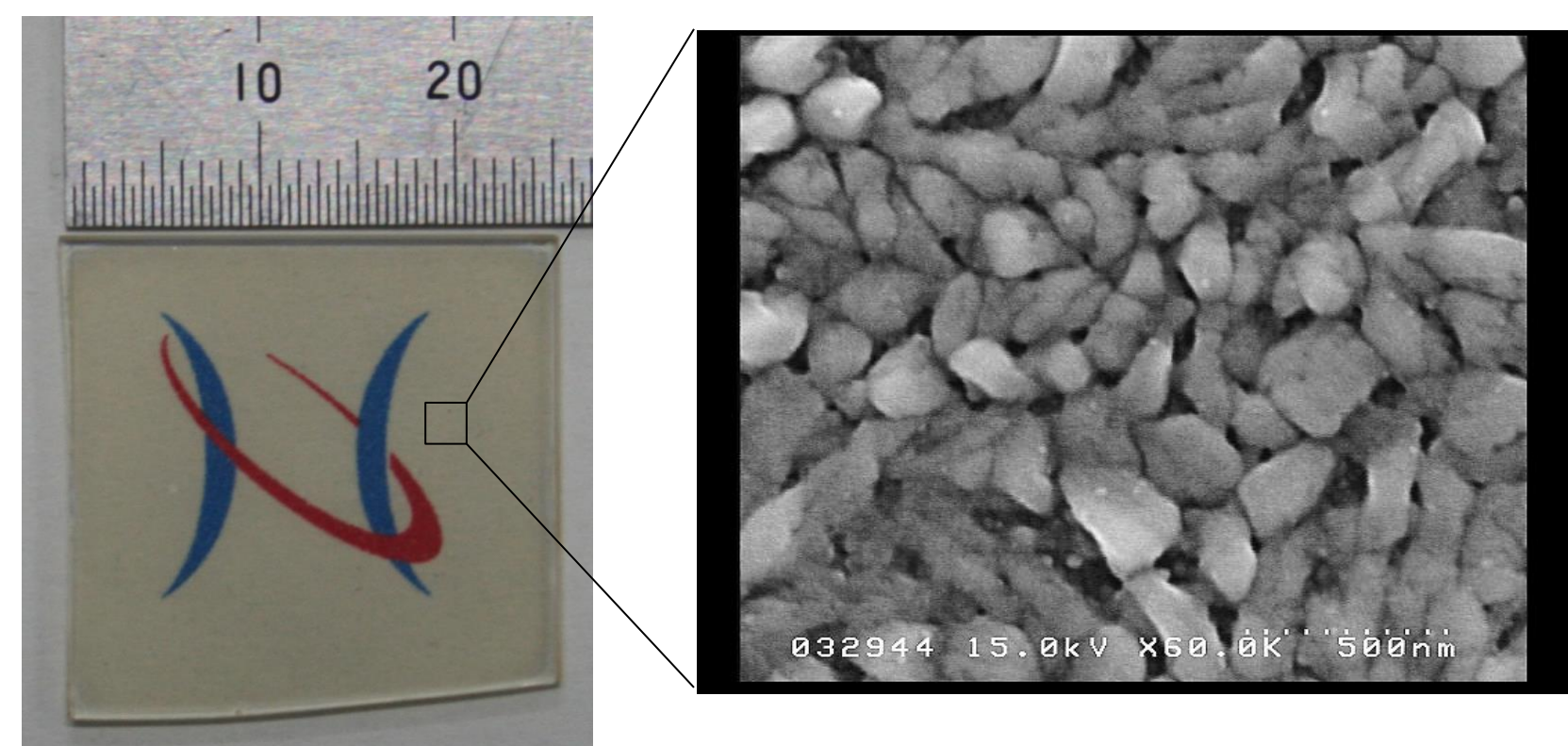
CTS系以外にもCZTSのバルク単結晶の成長や, 他の硫化物系化合物のバルク多結晶体の作製などにも着手している

透明p型半導体薄膜の作製と太陽電池応用

透明な太陽電池の作製をめざし, 透明p型半導体の作製を行っている。透明n型半導体は研究がかなり進んでいるが, 透明p型は研究例が非常に少ない。本研究室ではCuI+CuBrに着目し, 溶液塗布による透明p型半導体の作製および, その諸特性の分析, 透明太陽電池の構築を目指している。

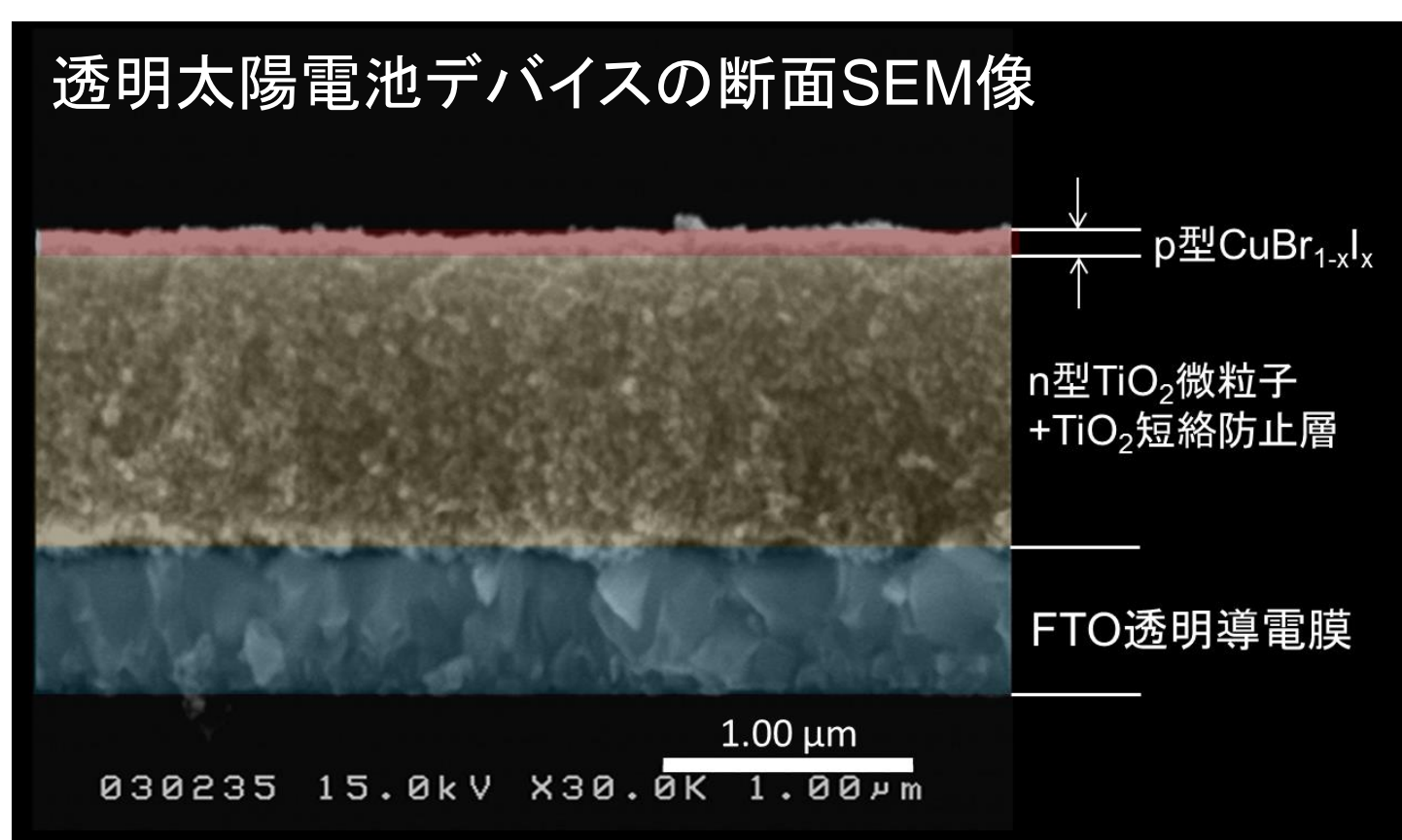
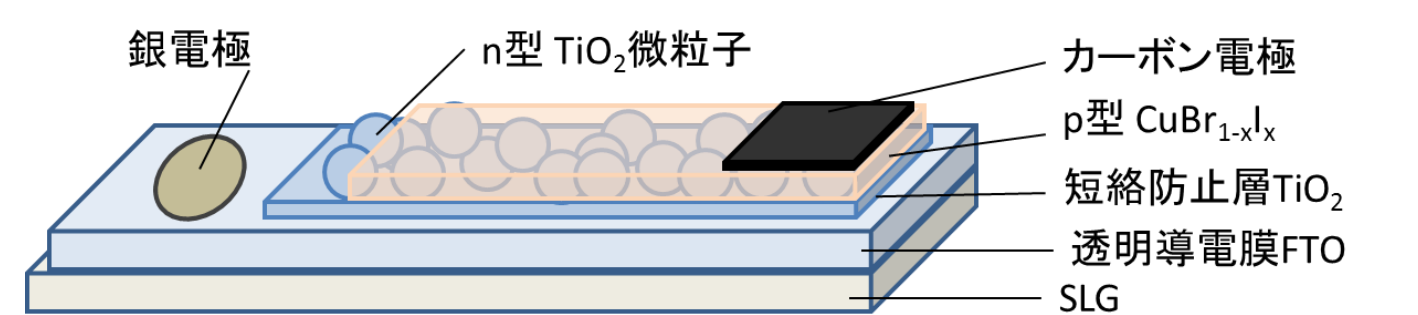
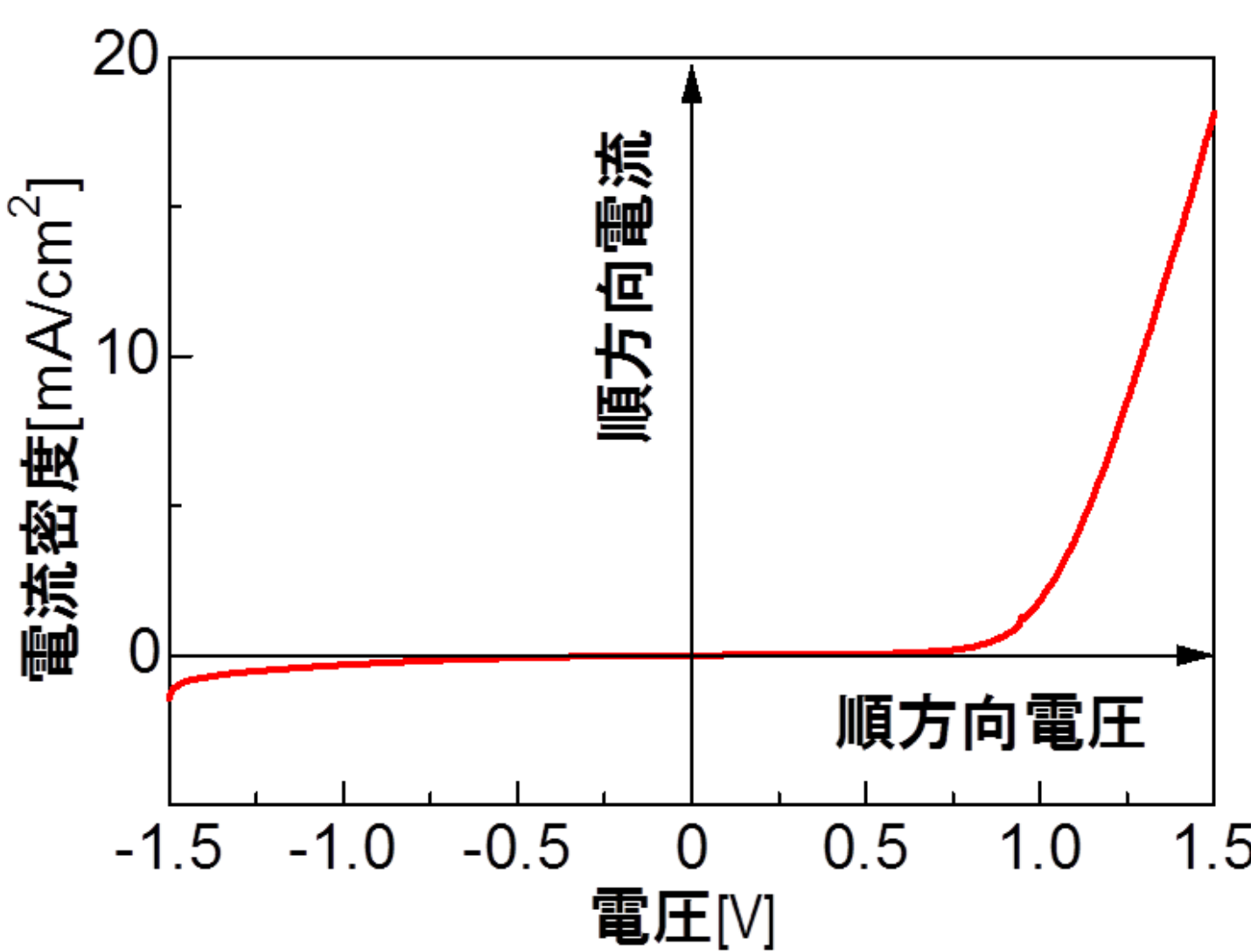


CuBr_{1-x}I_x薄膜試料の外観と表面SEM像



SLG/FTO/TiO₂/n-TiO₂微粒子/p-CuBr_{1-x}I_x/Carbon構造の透明なpn接合で整流特性は確認している。IとBrの量を変えることにより, 光学的・電気的特性が変化するため, 諸特性のI/Br比依存性を調べ, 透明太陽電池に適切な割合や, 製膜法などの検討を行っている。

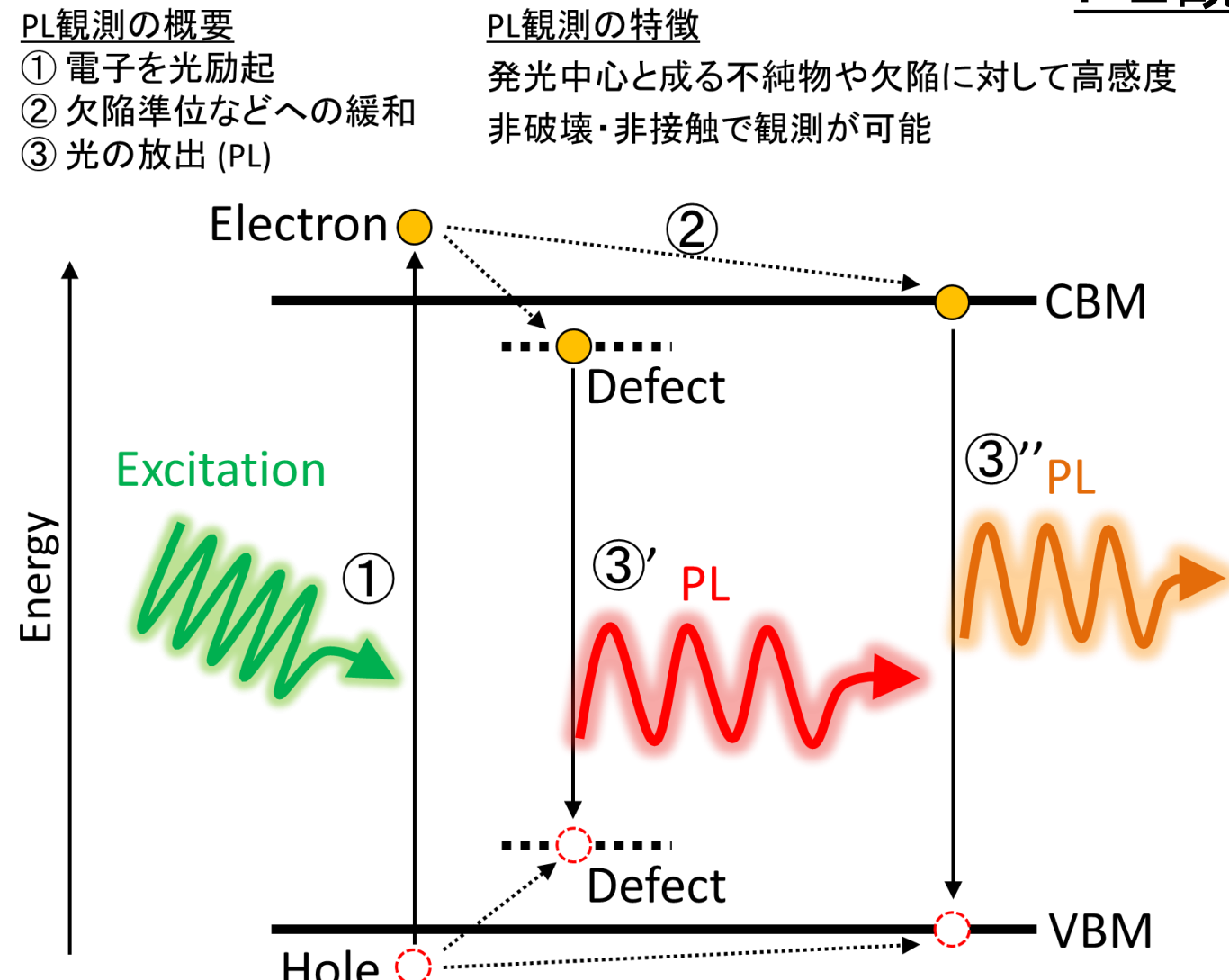
透明太陽電池の整流特性とデバイス構造



太陽電池材料の発光分光

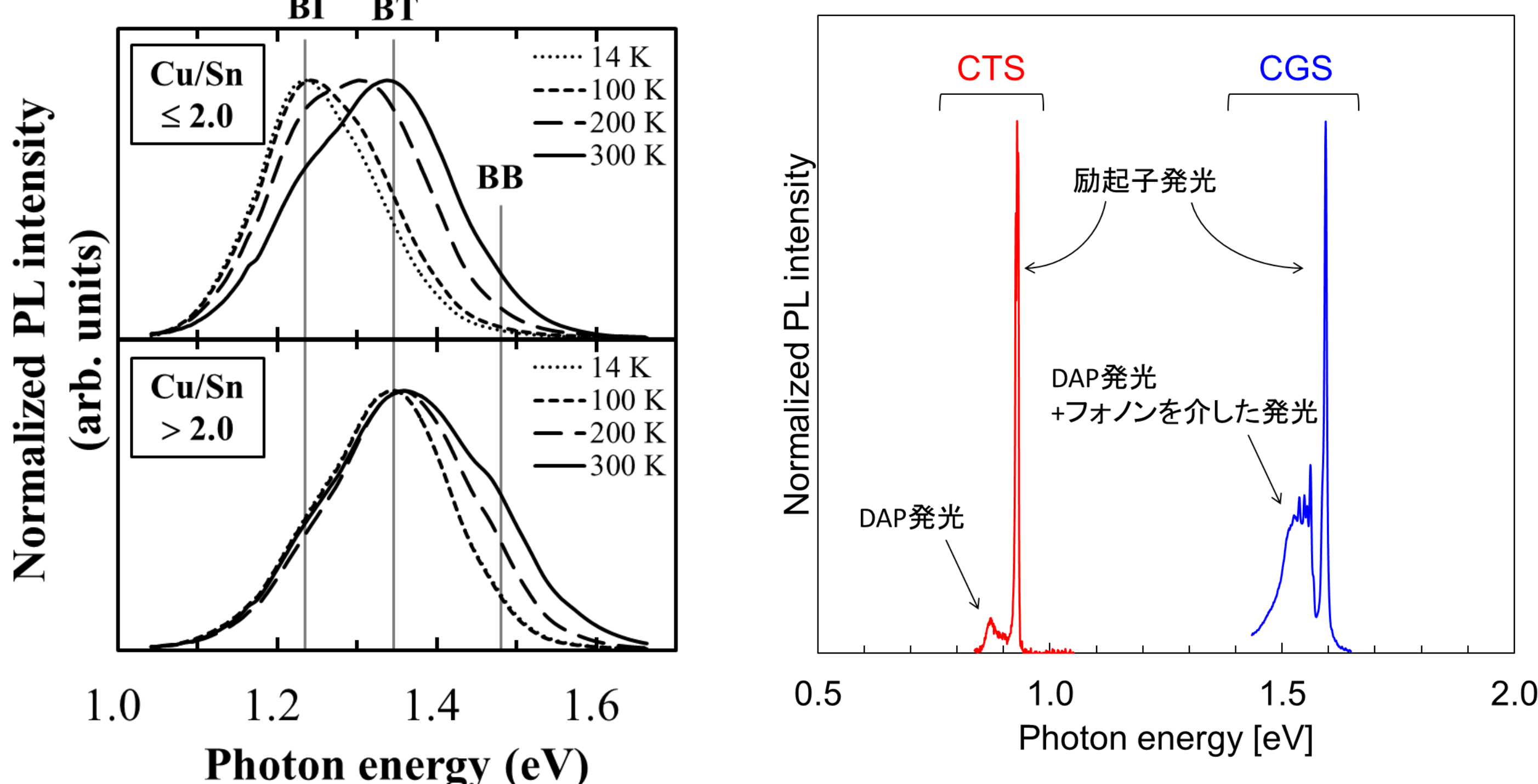
CZTS, CTS系 の研究は, デバイス, 薄膜作製の研究が殆どで, 基礎物性の研究報告例が少ないため, 効率低下要因が不透明である。そのため太陽電池デバイスの作製を念頭に置き, 基礎物性を把握する必要がある。そこで本研究室ではフォトルミネッセンス (PL)観測を中心とした分光学的手法により太陽電池材料の光学特性を調べている。

PL観測の概要



PL 観測は, 試料にレーザー等の光でエネルギーを与え, 発生するキャリアの遷移過程で生じる発光を検出する手法である。この発光スペクトルを解析することで, キャリアの遷移機構や欠陥のエネルギー準位などの半導体の特性がわかる。

PLスペクトルの例(左:CZTS, 右:CTSとCGS)



CZTS: Cu-poorとCu-richのCZTSのPLを観測。スペクトルはバンド間発光(BB, 1.48eV), バンド-テール発光(BT, 1.35eV), バンド-不純物間発光(BI, 1.23eV)で構成されている。
CTS, CGS: 両バルク単結晶から初めて励起子発光を観測。その他薄膜の発光等も観測した。