

# タンデム型太陽電池応用を目指した CIGS太陽電池の表面平坦化

上川由紀子、西永慈郎、柴田肇、石塚尚吾  
産業技術総合研究所

省エネルギー研究部門 化合物薄膜材料グループ

(兼)ゼロエミッション国際共同研究センター 多接合太陽電池研究チーム

## 研究の目的

Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>(CIGS) は高い光吸収係数を有しており、数μmの薄膜で高い光電変換効率(>23%)が得られる。<sup>1</sup>また、フレキシブル基板上への応用も期待されている他、高放射線耐性<sup>2</sup>、長期安定性<sup>3</sup>などの優位性を有する。CIGSではGa/(In+Ga)組成比によりバンドギャップを1.0~1.7eVと広い範囲で調整可能である<sup>4</sup>。1.1eV以下の低Ga組成CIGSはタンデム型太陽電池向けのボトムセルとしても期待されている。一方、タンデム化に際して、CIGS太陽電池の表面凹凸が障害となる場合がある<sup>5-7</sup>。本研究では、長波長吸収型CIGS太陽電池の高い性能を維持しながら表面平坦性を向上することを目的とした。

## 実験

Br系水溶液※によるCIGS光吸収層の表面エッチング(Brエッチング)を行った。光吸収層膜厚は第一段階の初期にのみGaを照射する(右)変調型3段階法を用いて、単一傾斜のGa組成分布を形成した。<sup>5</sup>膜厚は3μmとした。

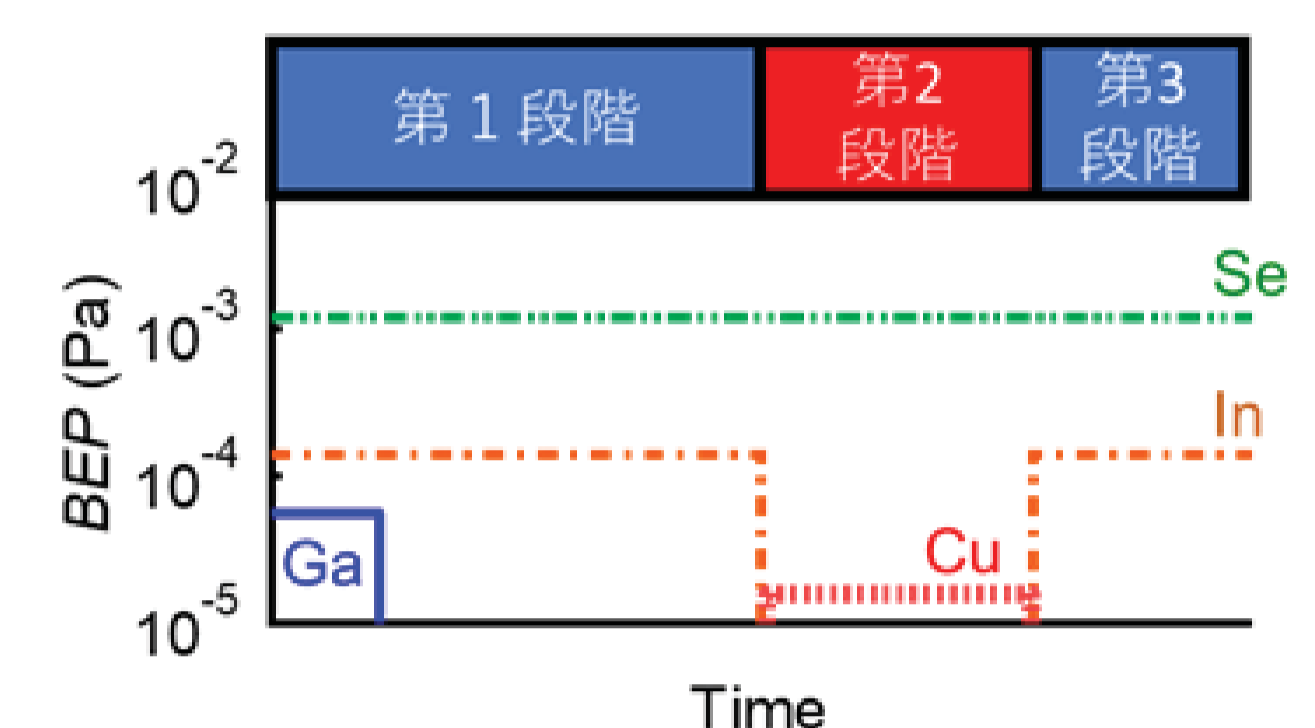
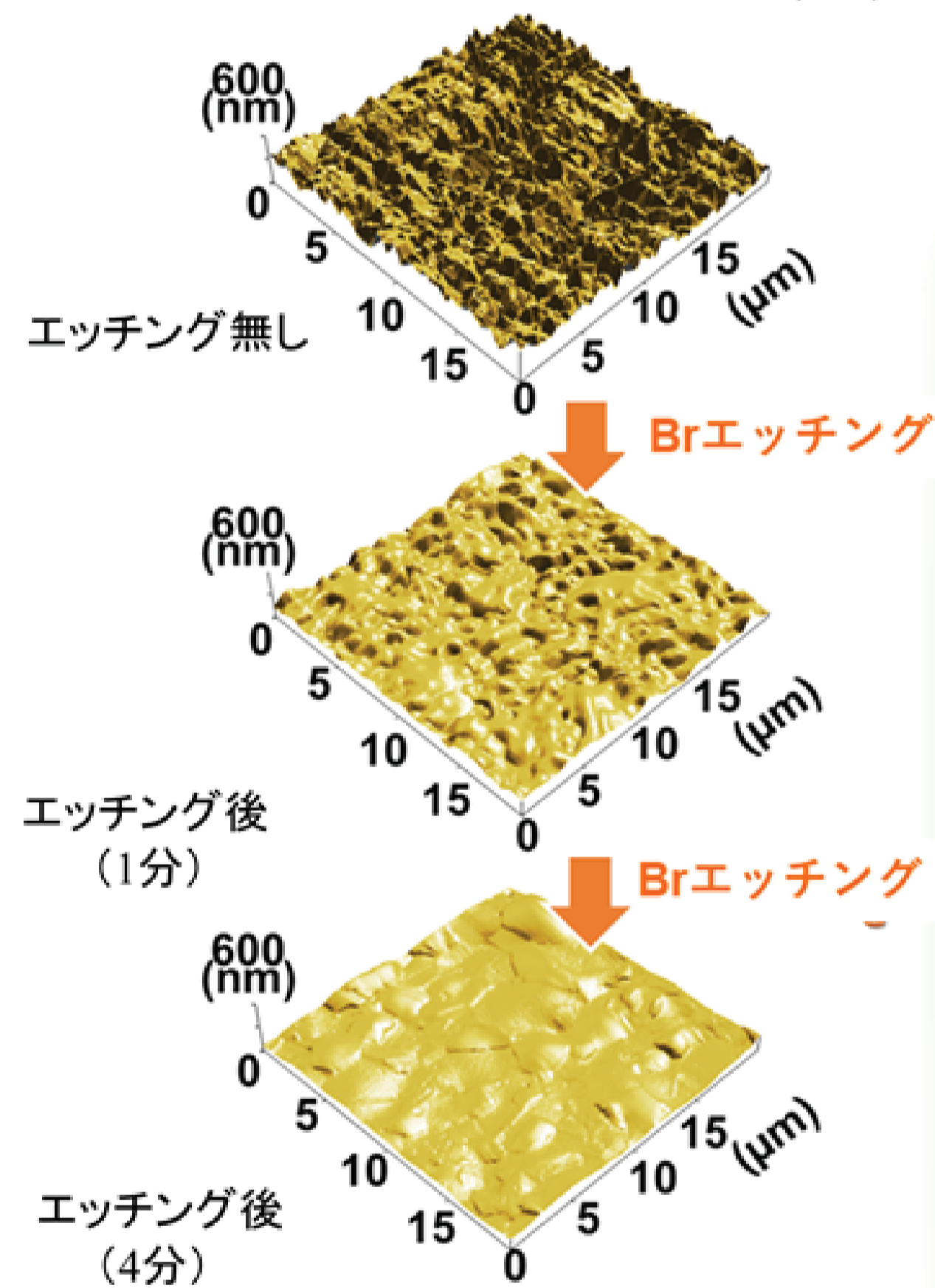
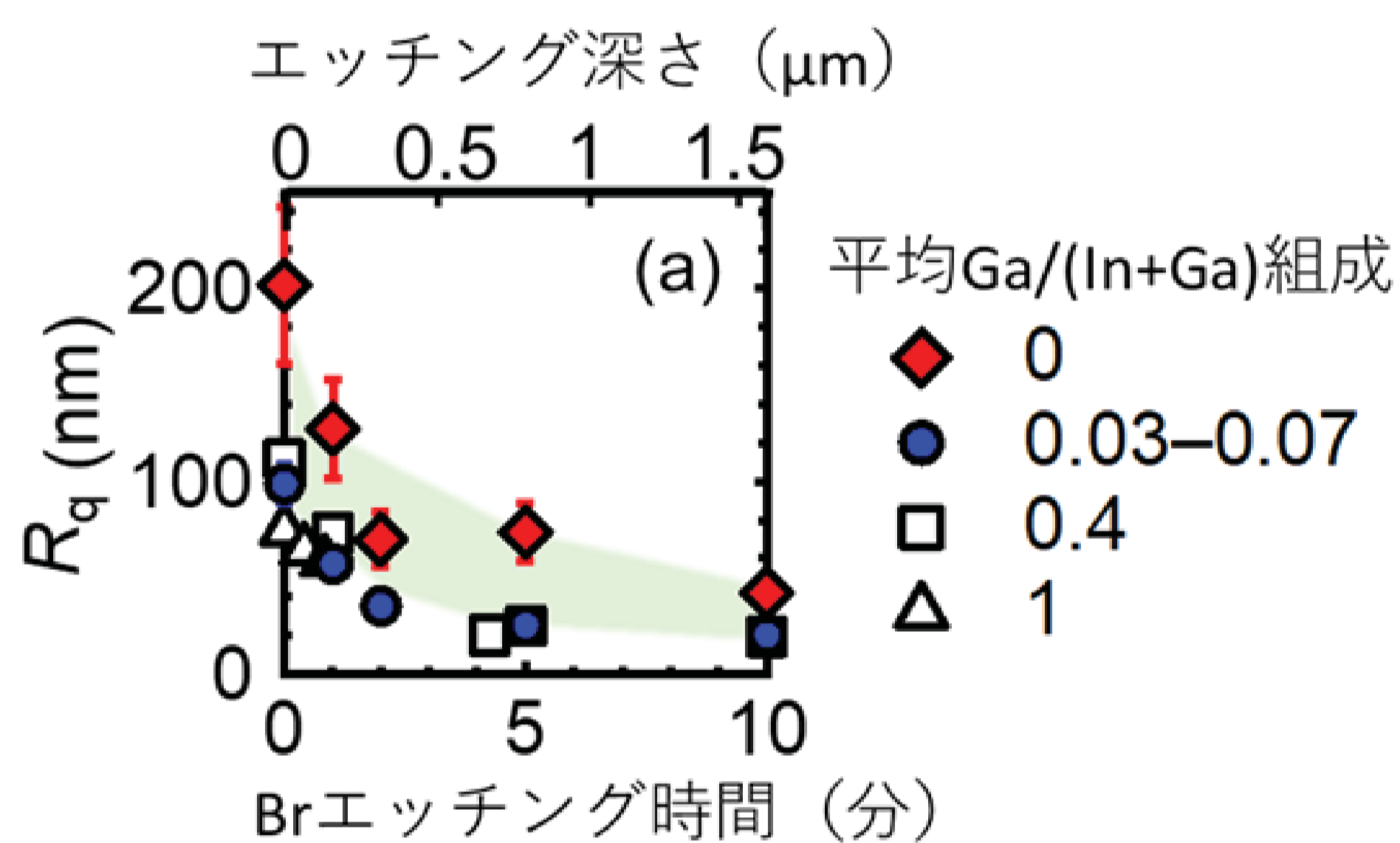


図: 単一傾斜のGa組成分布を有する光吸収層の成膜プロセス(変調型3段階法)<sup>5</sup>

※ HBrとH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の水溶液

## 結果と考察



幅広いGa / III組成(0~1)においてBrエッチングによる光吸収層の表面平坦性の向上傾向が観察された。Brエッチング後のCIGS表面には0価のセレン(Se<sup>0</sup>金属セレン)が形成されるが<sup>8</sup>、このことにより、特に凹部でのエッチング速度が小さくなり<sup>8,9</sup>、エッチングが進行するとともに、表面平坦性が向上する<sup>7</sup>。

図:(上)原子間力顕微鏡(AFM)により評価した表面粗さ(Rq)のBrエッチング時間依存性  
(下)CIS:Ga光吸収層(平均Ga組成0.03)の表面AFM像<sup>7</sup>

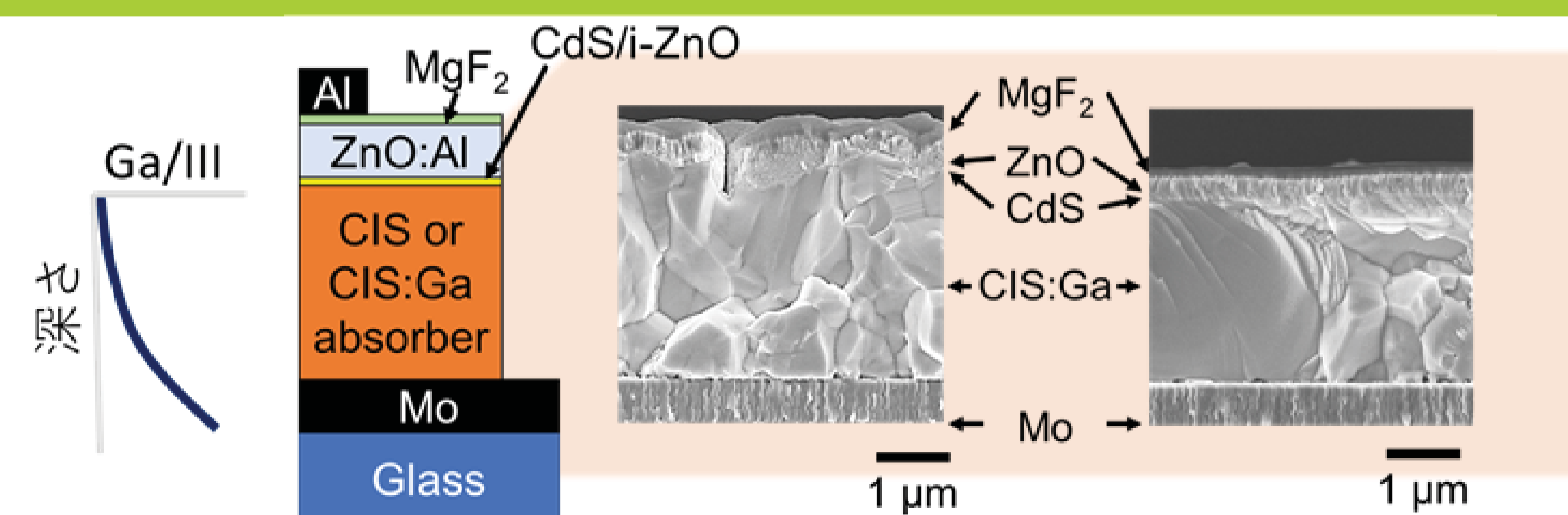
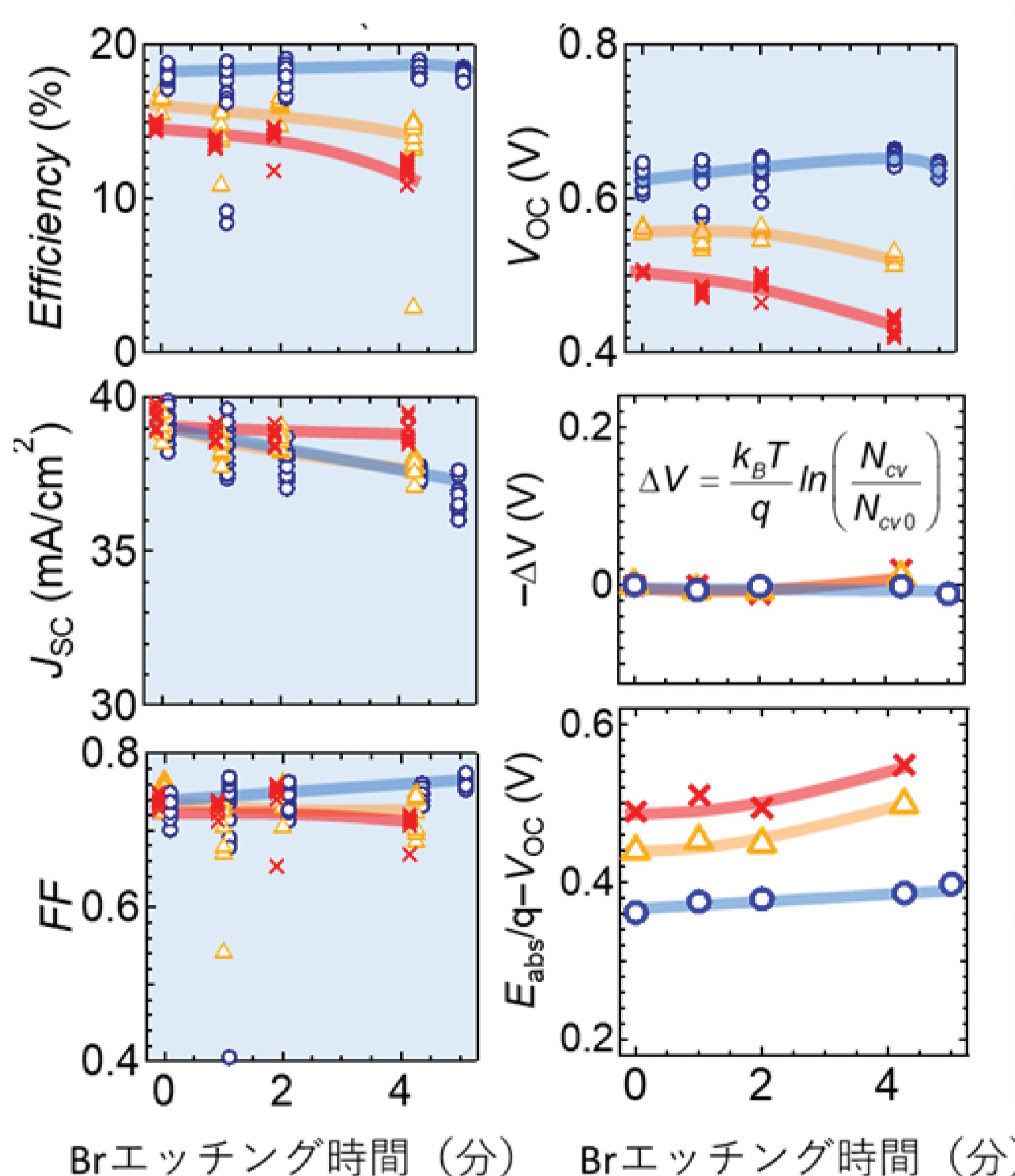


図:(左)デバイス概略図  
(右)断面SEM像<sup>7</sup>

- × Ga単一傾斜無し
- △ Ga単一傾斜不十分 (Ga/III平均値:0.03)
- Ga単一傾斜十分 (Ga/III平均値:0.1)



Brエッチング時間(分) Brエッチング時間(分)  
図:(上左)デバイス概略図  
(上右)Brエッチング前後の光吸収層の断面SEM像  
(下)太陽電池特性のBrエッチング時間依存性<sup>7</sup>

光吸収層表面をBrエッチングによって平坦化したデバイスの太陽電池特性を左図に示す。Ga単一傾斜が無いものおよび傾斜が不十分なものでは、Brエッチングにより光吸収層膜厚が3μmから約2μmに減少した際、特性の低下がみられた。裏面再結合損失が増加したためと考えられる<sup>10</sup>。一方、十分大きなGa傾斜構造を有する試料ではこの裏面再結合による特性低下を抑制できる。

## 結論

Br系エッチング処理により幅広い組成範囲でCIGS光吸収層の表面平坦化に有効であることが分かった。この手法を活用して、表面平坦性の高いCIGS太陽電池を作製可能となる。Ga傾斜構造を活用することで、エッチングによる特性低下を抑制できるため、長波長吸収型CIGS太陽電池の高い性能を維持しながら表面平坦性を向上することが可能となる。

## 参考文献

- [1] M. Nakamura *et al.*, IEEE J. Photovoltaics 2019, 9, 1863–1867.
- [2] S. Kawakita *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 2019, 41, L797.
- [3] J. Nishinaga *et al.*, Appl. Phys. Express, 2017, 10, 092301.
- [4] S. Han *et al.*, Appl. Phys. Lett. 2005, 87, No. 151904.
- [5] M. Jošt *et al.*, ACS Energy Lett. 2019, 4, 583–590.
- [6] K. Makita *et al.*, Proceedings of 29th EUPVSEC, 2014.
- [7] Y. Kamikawa *et al.*, ACS Appl. Mater. Interfaces 2020, 12, 45485–45492.
- [8] B. Canava *et al.*, J. Phys. Chem. Solids 2003, 64, 1791–1796.
- [9] M. Bouttemy *et al.*, Thin Solid Films 2011, 519, 7207–7211.
- [10] Y. Kamikawa *et al.*, IEEE PVSC: Chicago, 2019.

【謝辞】 本研究の一部は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援により実施された。