

## SLG から拡散した Mo 薄膜中の Na の分布および化学状態

### Depth distribution and chemical state of Na in Mo thin layer diffused from SLG

京大理工<sup>1</sup>, 東北大金研<sup>2</sup>, <sup>○</sup>(M1) 桑野 太郎<sup>1</sup>, 今宿 晋<sup>2</sup>, 野瀬 嘉太郎<sup>1</sup>

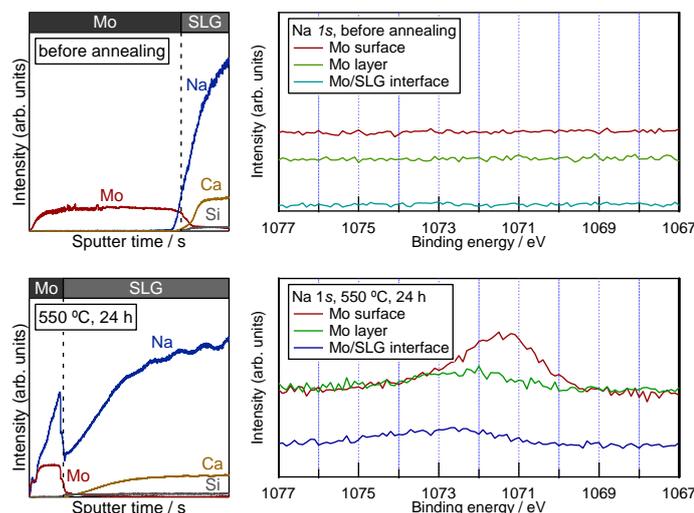
Kyoto Univ.<sup>1</sup>, IMR, Tohoku Univ.<sup>2</sup>, <sup>○</sup>Taro Kuwano<sup>1</sup>, Susumu Imasyuku<sup>2</sup>, Nose Yoshitaro<sup>1</sup>

E-mail: kuwano.taro.83u@st.kyoto-u.ac.jp

**背景** Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS) を光吸収層として用いた太陽電池は近年 22 % 以上の変換効率が報告されるなど、ここ数十年盛んに研究されてきた<sup>1</sup>. 特に CIGS 吸収層へのアルカリ金属のドーピングによる変換効率向上に関する成果が多く報告されている. 元々は、CIGS 成膜中にソーダライムガラス (SLG) 基板の成分である Na が Mo 裏面電極を通じて CIGS 吸収層へ拡散することが見出されたことがきっかけである<sup>2</sup>. Na は SLG 中で Na<sup>+</sup> イオンとして存在しており、この Na<sup>+</sup> イオンが Mo と SLG の界面を横切って Mo 薄膜中を拡散し、CIGS へ到達していると考えられている<sup>3,4</sup>. しかし、電気的中性の観点からは Na がイオンの状態で拡散することは考えにくく、また、実際にイオンの挙動を測定した報告はない. 我々は、前回の講演大会において、グロー放電発光分光分析 (GD-OES) を用いて熱処理に伴う Na の深さプロファイルの変化を報告した. そこで本研究では、GD-OES に加えて X 線光電子分光 (XPS) 測定を行うことで、Mo 薄膜中および Mo/SLG 界面近傍の Na の化学状態を調査し、Na の拡散挙動を明らかにすることを目的とした.

**実験方法** SLG 基板上に DC スパッタリングにより膜厚約 100 nm または 500 nm の Mo 薄膜を作製することで、Mo/SLG 試料を作製した. その後、Mo/SLG 試料を石英管に約 10<sup>-2</sup> Pa で真空封入し、熱処理することで、Na の拡散を促した. 温度は 350–550 °C、時間は 1–96 h とした. 熱処理後は、Mo 薄膜中の Na の深さ方向プロファイルと束縛エネルギーを測定するために、GD-OES 測定および XPS 測定を行った. GD-OES 測定、XPS 測定にはそれぞれ膜厚 500 nm、100 nm の Mo/SLG 試料を使用した. GD-OES 測定条件として、Ar ガス圧 300 Pa、出力 12 W とした. また、ポリクロメータのセンタリングには Cu を用いた. XPS 測定においては、Ar ガスによるエッチングと XPS 測定を交互に行うことで、Na 1s, Mo 3d, O 1s, Si 2p の束縛エネルギー近傍における深さ方向のプロファイルの変化を測定した. 測定時の真空度は約 10<sup>-8</sup> Pa とした. 照射 X 線には Al-K α 線を用い、Au 4f<sub>7/2</sub> (83.96 eV), 4f<sub>5/2</sub> (87.64 eV) を用いてキャリブレーションを行った. また、エッチングにおける Ar ガス圧は 10<sup>-5</sup> Pa とした.

**実験結果** Fig. 1 に熱処理前および 550 °C、24 h の熱処理後の GD-OES 測定と XPS 測定の結果を示す. XPS 測定の結果は Na 1s 軌道の束縛エネルギー近傍を示してある. Fig.1 から、熱処理前は Mo 薄膜および Mo/SLG 界面近傍に Na が存在していないことが分かる. 一方で、熱処理によって Na が Mo 薄膜中へ拡散していることが観察される. XPS 測定結果からは、Mo 表面近傍に存在する Na に比べて、Mo 薄膜中および Mo/SLG 界面近傍に存在する Na は酸化状態にあることが推察される. また、GD-OES の測定結果からは Mo/SLG 界面近傍に Na の偏析が確認されるものの、XPS の測定結果からは同様の結果は認められなかった. 当日は、束縛エネルギーに関する詳細な考察や得られた結果を基にした Na の拡散挙動に関する検討結果についても報告する.



**Fig. 1.** Profiles of GD-OES for Mo, Na, Ca and Si, and XPS spectra for Na 1s before and after annealing at 550 °C for 24 h.

<sup>1</sup> P. Jackson, et al., Phys. Status Solidi - Rapid Res. Lett. **10**, 583 (2016). <sup>2</sup> H. Ruckh, et al., in Proc. 1994 IEEE 1st World Conf. Photovolt. Energy Convers, pp. 156–159. <sup>3</sup> N. Janke, et al., Glas. Sci. Technol. Glas. Berichte **73**, (2000). <sup>4</sup> G. Hanna, et al., Photovolt. Energy Conversion, 2003. Proc. 3rd World Conf. **1**, 368 (2003).