

CIGS太陽電池におけるパッシベーション構造導入の効果検討

上川 由紀子¹, ナルドン マルコ², 柴田 肇¹, 石塚 尚吾¹

1産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門 2ボーリング・グリーン州立大学

研究の目的

CIGS系材料では界面パッシベーションの研究は途上である。CIGS系太陽電池では結晶品質が高い場合には、裏面パッシベーションが更なる変換効率向上に有効であると期待される[1-2]。本研究では、CIGS太陽電池の界面パッシベーション構造、手法について検討している。今回、特性改善が報告されている構造 (ALD- AlO_x/Mo)[3-5]にてパッシベーション効果について検討した。

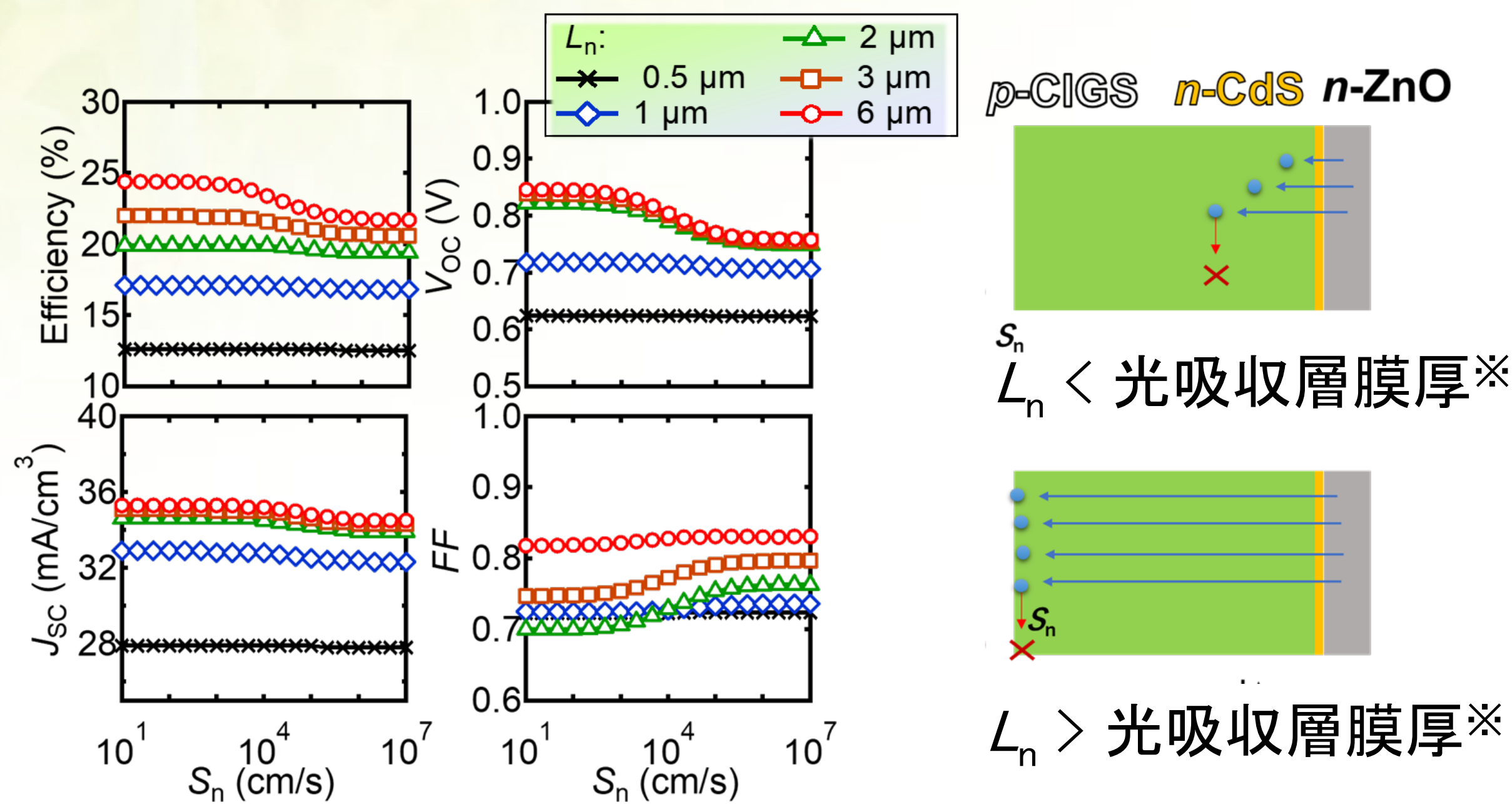


図1 (左) 太陽電池特性の裏面再結合速度 (S_n) 依存性のデバイスシミュレーション結果 [1-2]、(右) 少数キャリア拡散長 (L_n) と S_n の影響の関係 [1-2]

実験

裏面再結合が大きく影響する条件 ($L_n >$ 光吸収層膜厚*) を満たす薄膜構造にて実験を行った。太陽電池として駆動させる場合には、下図に示すフォトリソグラフィプロセスによって、コンタクトホールを形成した。コンタクトホールのサイズは数百ナノメートルとし、ホールの間隔は0.8もしくは2 μm とした。 Al_2O_3 成膜は原子層堆積 (ALD) 法を用いた。Al源には $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ (TMA)を用いた。O源には①酸素プラズマ(ICP) もしくは② H_2O を用いた。それぞれplasma ALDおよび thermal ALDと表記する。成膜温度は200 $^\circ\text{C}$ とした。

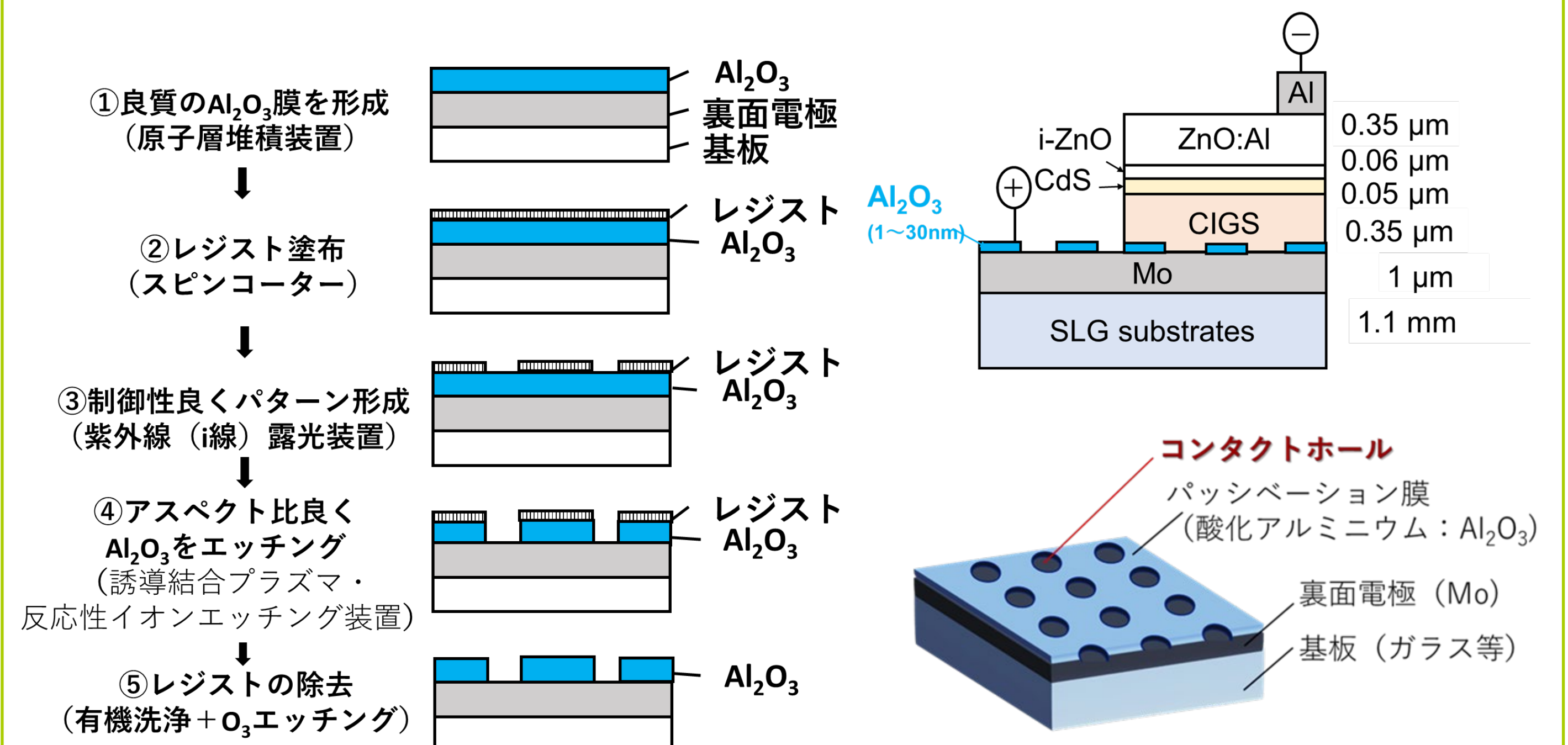


図2 フォトリソグラフィプロセス

図3 (上) 試料構造、(下) パッシベーション構造

結果と考察

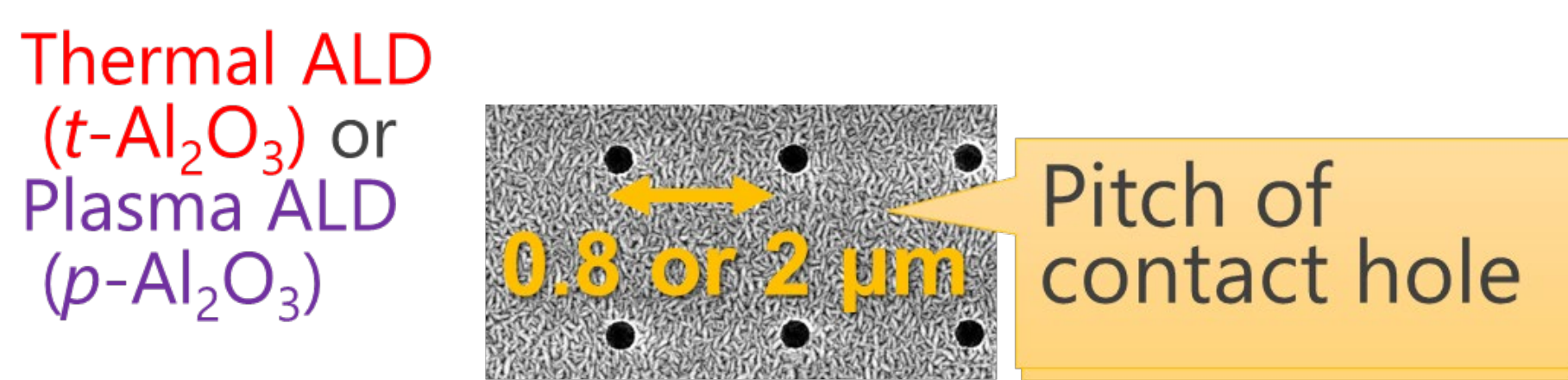
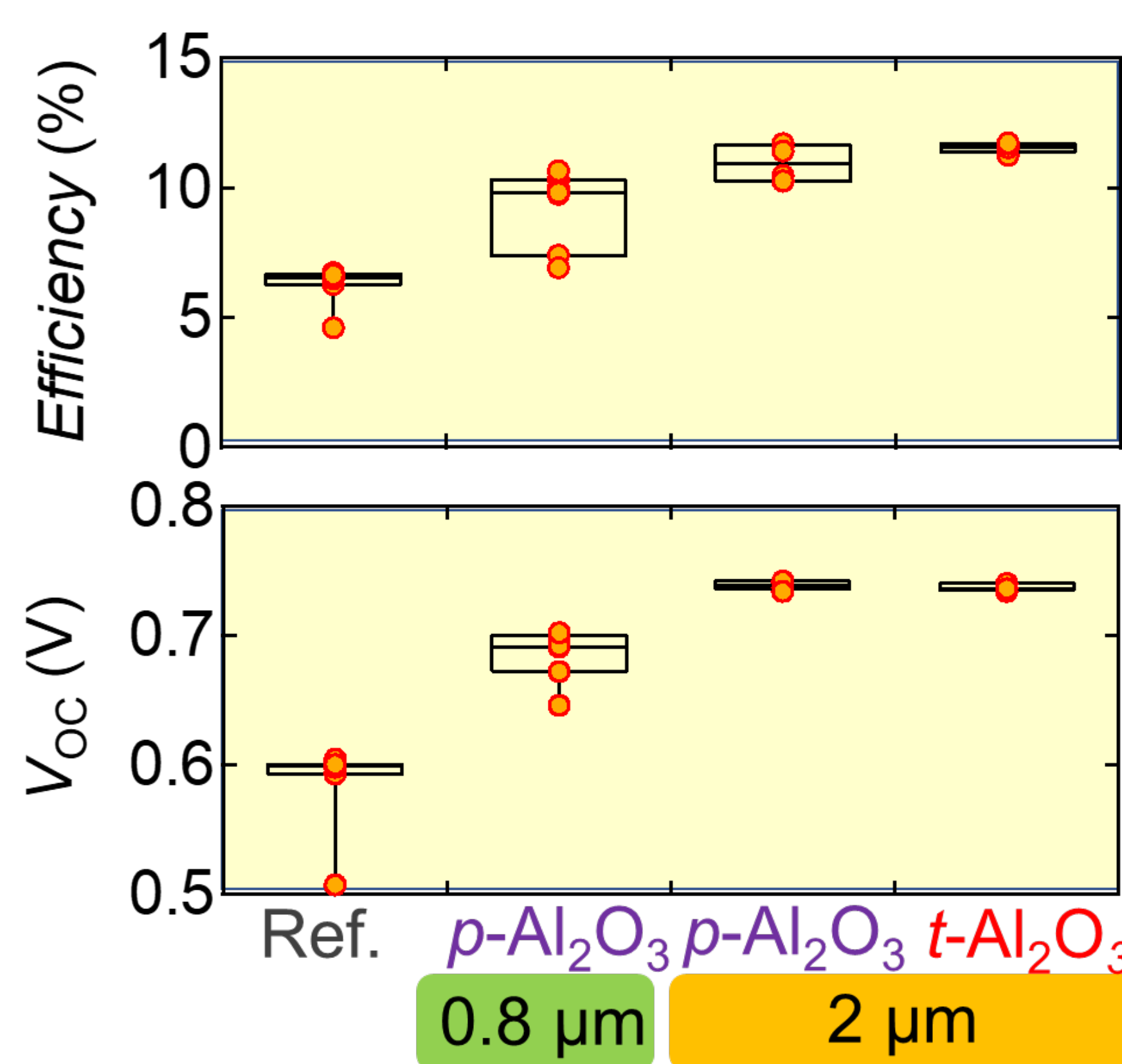


図4 参照試料(Ref.)および $p\text{-Al}_2\text{O}_3$ および $t\text{-Al}_2\text{O}_3$ を導入したCIGS太陽電池の変換効率および開放電圧 (V_{oc})

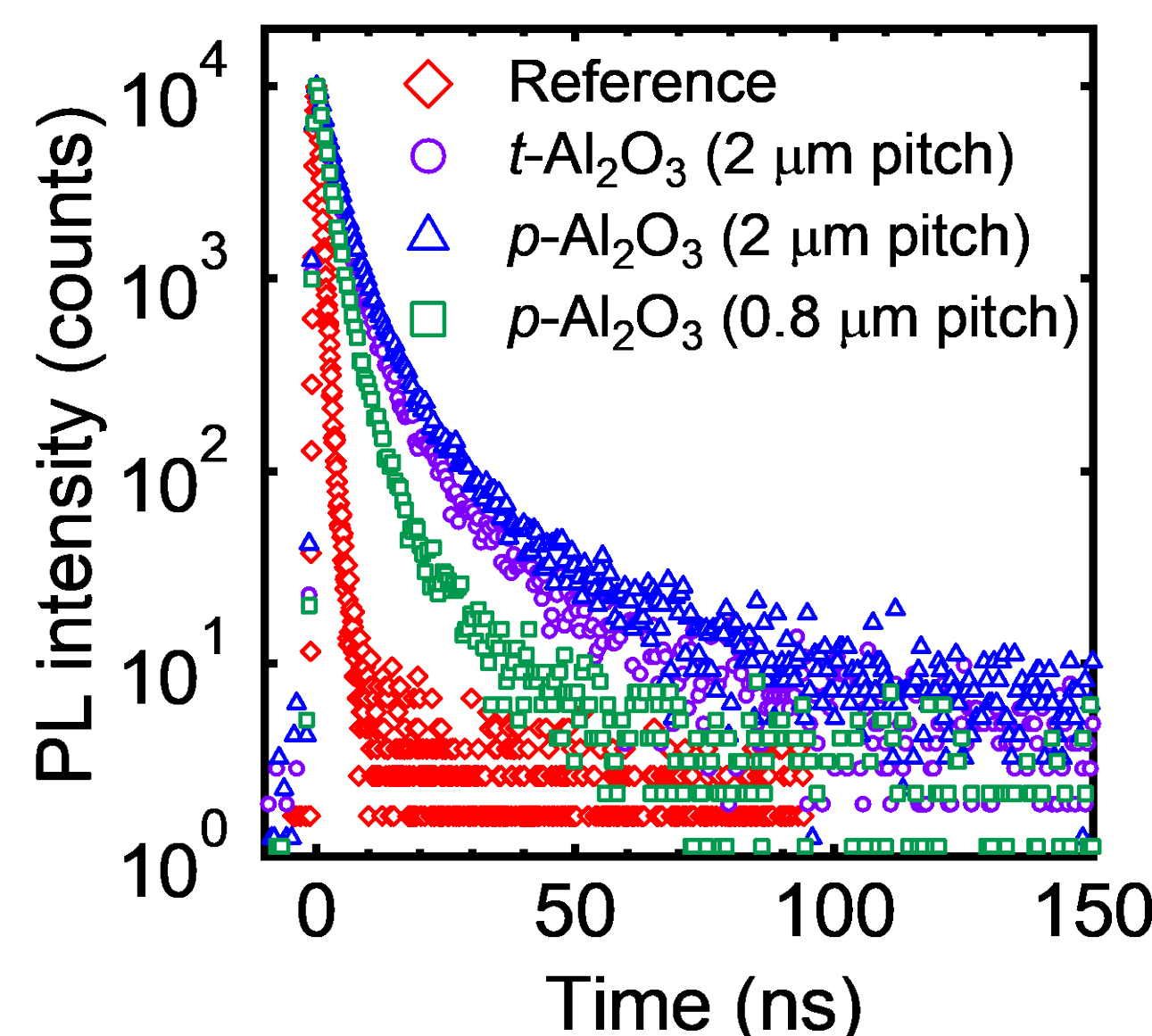


図5 時間分解PL評価結果

◆ Without PDT
● With NaF&KF PDT

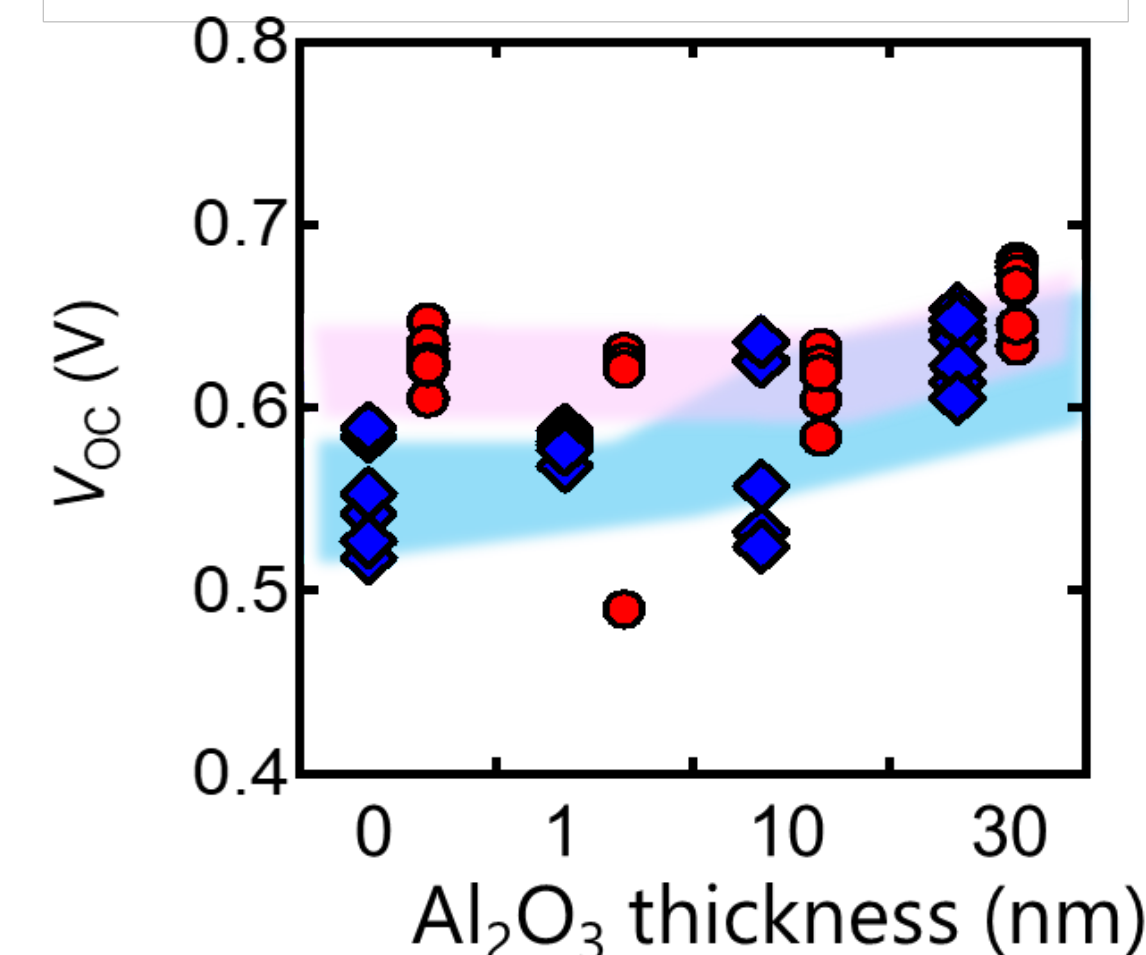


図6 V_{oc} の Al_2O_3 膜厚依存性

Al_2O_3 の面積が増加するのに伴い、 V_{oc} の向上が確認された。この際、時間分解PL法によって評価される少数キャリア寿命も増加しており、CIGS/ Al_2O_3 界面の再結合速度はCIGS/Moの再結合速度に比べて小さいことが分かる。

また、 Al_2O_3 膜を導入した際に副次効果として、Na濃度の増加も確認された。裏面電極のMo表面が酸化されることによりモリブデン酸ナトリウムのような形で、Naを含有し易くなったことなどが考えられる。

アルカリ金属の表面添加処理 (PDT) をした場合には、Na、K共に濃度の増加が見られた。この条件において Al_2O_3 無しでも0.6 Vを超える高い V_{oc} が得られた。30 nmの Al_2O_3 膜を導入した際にはパッシベーション効果により更に V_{oc} が増加した。

[Na] and [K] in CIGS (EPMA@5KV)

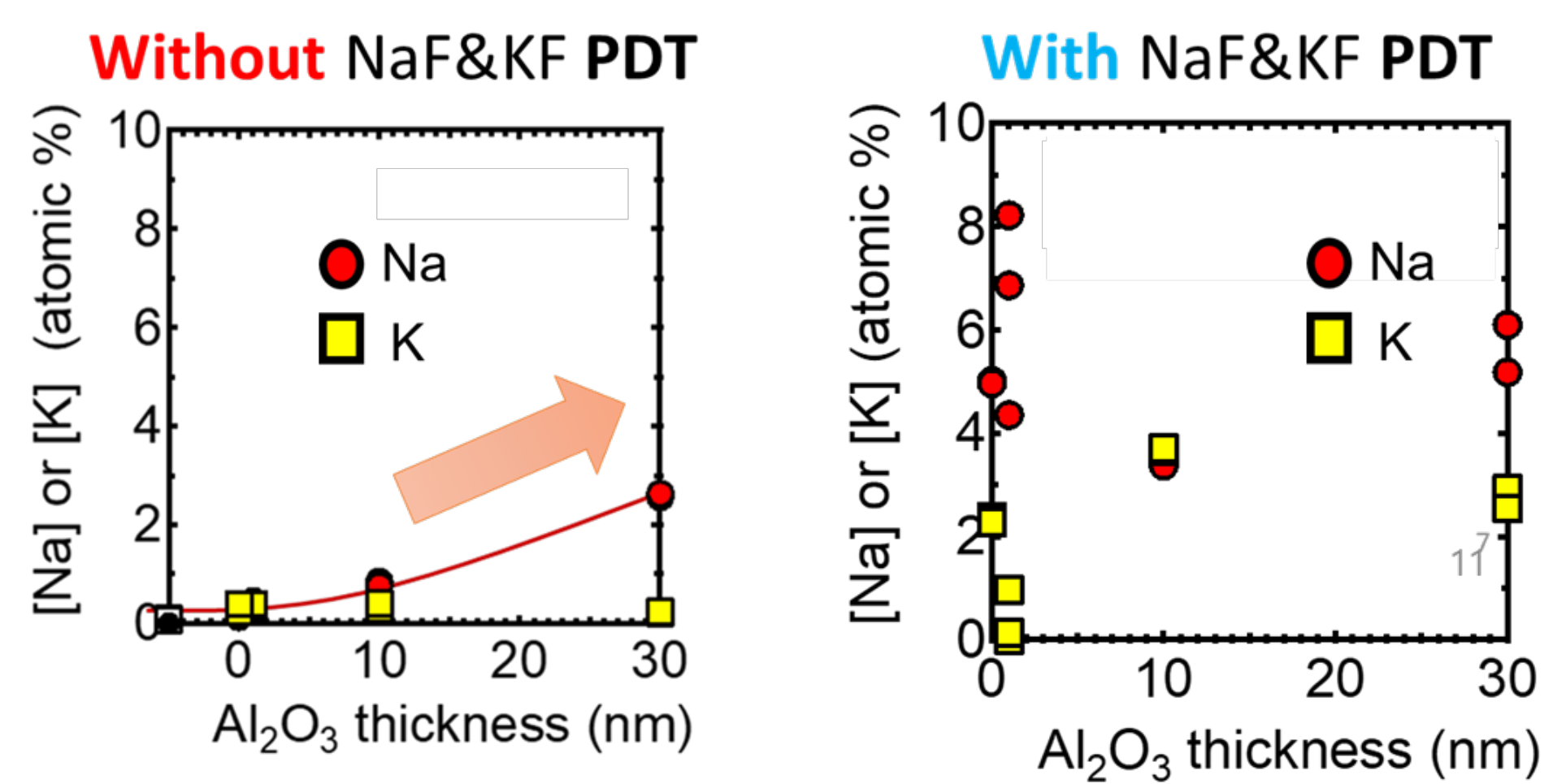


図7 アルカリ金属濃度の Al_2O_3 膜厚依存性

結論

Al_2O_3 の面積が増加するのに伴い少数キャリア寿命が増加することが確認された。CIGS/ Al_2O_3 界面の再結合速度はCIGS/Moの再結合速度に比べて小さいことが確認された。また、アルカリ金属の拡散量が Al_2O_3 の導入によって増加した。アルカリ金属の表面添加処理 (PDT) をした場合には、Na、K共に濃度の増加が見られた。この条件において Al_2O_3 無しでも0.6 Vを超える高い V_{oc} が得られた。パッシベーション構造導入の効果には、副次的に作用するNaの添加効果も重なっていることが考えられる。

参考文献

- [1] 上川由紀子他 成果報告会ポスター P32 (2019).
- [2] Y. Kamikawa et al., "Assessing the impact of back-contact recombination on CIGS solar cells with improved crystal quality", Proc. IEEE PVSC (2019).
- [3] C. J. Frosch et al., J. Electrochemical Society, **104** (1957) 547.
- [4] B. Vermang et al., IEEE J. Photovoltaics, **4** (2014) 48.
- [5] S. Choi et al., Thin Solid Films **665** (2018) 91.

*厳密にはquasi-neutral region (QNR)の厚み

【謝辞】本研究は、JSPS科研費 (JP20K0534) の助成を受けたものです。また、太陽電池特性の評価に関する成果の一部は、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) の委託業務の結果得られたものです。ALD成膜およびナノプロセスの一部は産業技術総合研究所 ナノプロセッシング施設にて行ったものです。ここに記して感謝の意を表します。