

CIGS太陽電池における裏面再結合の影響の検討

○上川 由紀子¹、Marco Nardone²、西永 慈郎¹、柴田 肇¹、石塚 尚吾¹

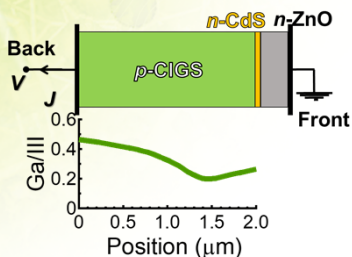
¹産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 化合物薄膜チーム

²Bowling Green State University

研究の目的

CIGS太陽電池では、変換効率が23%を超える等[1,2]、高性能化が進んでいる。同太陽電池では、デバイス構造の最適化の他、Cu/III比を化学量論比に近づける試み等、結晶品質向上に向けた研究も報告されている[3,4]。本研究では、少数キャリア拡散長が増加した場合に、求められるデバイス構造を検討した。

特に、裏面再結合に着目し、裏面再結合速度の影響をデバイスシミュレーションにより評価した。典型的なGa/(In+Ga)の組成比(Ga/III比)の深さ分布を設定し[5]、伝導帯(E_c)の傾斜構造を想定した上で、少数キャリア拡散長を0.5~6 μm と変化させ、それぞれの場合について検討した。



Gaグレーディング:
高効率CIGS太陽電池 (> 21%) におけるGa/IIIの深さ分布をSIMSにより評価した結果[5]を、デバイスシミュレーションに利用した。

デバイスシミュレーション

THE MATERIAL PARAMETERS OF p-CIGS, n-CdS, n-ZnO LAYER.

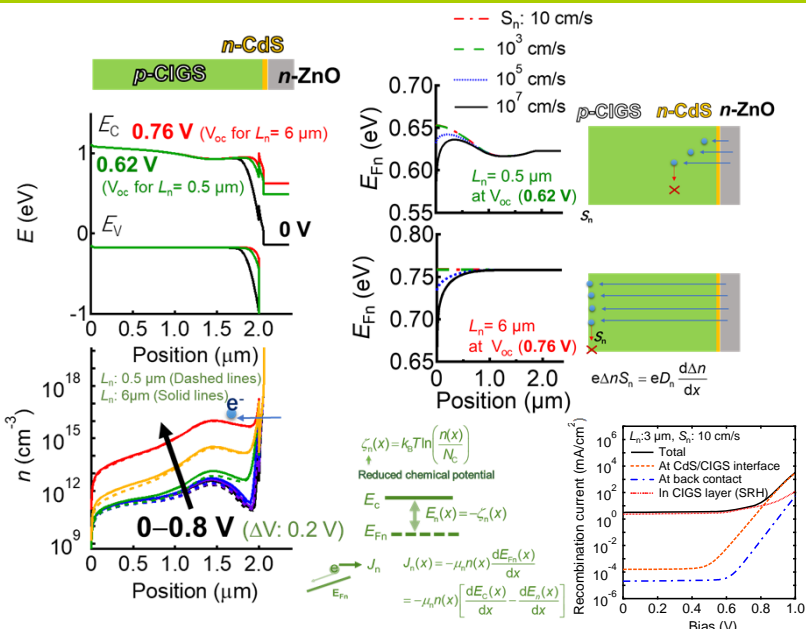
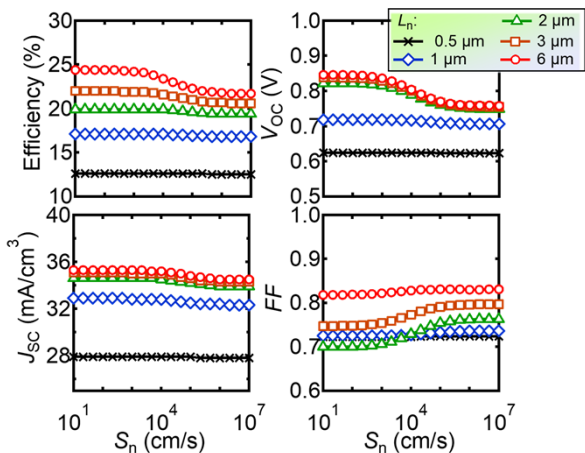
| | p-CIGS | n-CdS | n-ZnO |
|--|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| Thickness (μm) | 2.0 | 0.06 | 0.3 |
| Dielectric constant (C/V m) | $13.6 \times \epsilon_0$ | $10 \times \epsilon_0$ | $9 \times \epsilon_0$ |
| Effective mass of electron | $0.2 \times m_0$ | $0.2 \times m_0$ | $0.2 \times m_0$ |
| Effective mass of hole | $0.8 \times m_0$ | $0.8 \times m_0$ | $0.8 \times m_0$ |
| Mobility of electron (cm^2/Vs) | 40 | 100 | 20 |
| Mobility of hole (cm^2/Vs) | 10 | 25 | 5 |
| Electron affinity (eV) | $4.35 - 0.421y - 0.244y^2$ | 4.05 | 4.15 |
| Bandgap (eV) | $1.011 + 0.421y + 0.244y^2$ | 2.4 | 3.3 |
| Carrier density (cm^{-3}) | 2×10^{18} | 1×10^{17} | 4×10^{20} |

デバイスシミュレーターには、SCAPS-1D (Solar Cell Capacitance Simulator)[6]およびCOMSOL Multiphysics®を用いた。CIGS中にドナー型欠陥を導入し、濃度を $5.5 \times 10^{13} \sim 3.8 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ で変化させた。このとき、対応する少数キャリア拡散長は0.5~6 μm となる。欠陥のエネルギー位置はバンドギャップ中央とし、捕獲断面積は電子、正孔に対してそれぞれ $\sigma_n: 5 \times 10^{-13} \text{ cm}^2$, $\sigma_p: 10^{-15} \text{ cm}^2$ とし[4]。電子の裏面再結合速度(S_n)を 10^3 cm/s から 10^7 cm/s の範囲で変化させ、太陽電池特性を算出した。yはIII族元素に対するGaの比率である。

結果と考察

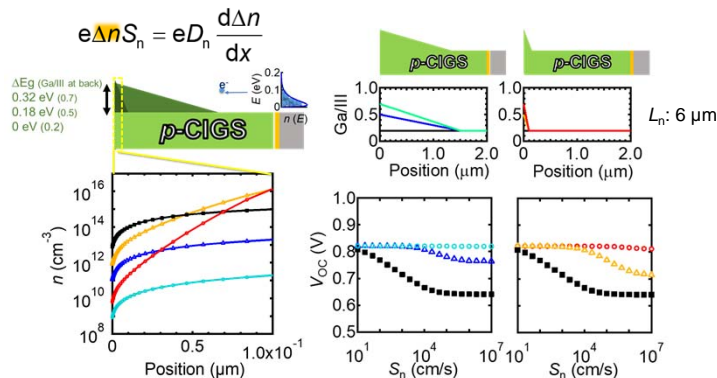
Case 1: Conventional Ga/III grading

L_n が大きい場合には裏面再結合速度を改善することで、 V_{oc} の更なる増加のポテンシャルがあることが分かる。この結果は、典型的なGa/III比グレーディングを導入した計算のもとで得られている。必ずしも従来のGa/IIIグレーディングで裏面再結合が十分に抑制されない可能性が示唆される。



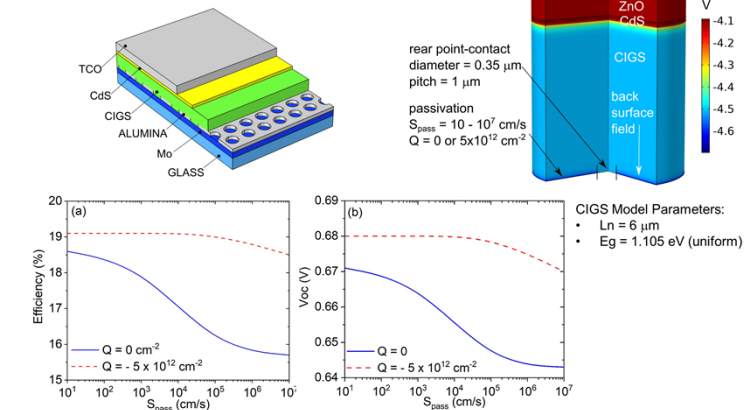
Case 2: Larger Ga/III grading

裏面再結合の抑制には、裏面でのGa/III比を増加させることも有効である。裏面での少数キャリア密度を低減することによって、裏面再結合によって生じる電流を抑えることができる。



Case 3: Passivation structure

裏面での少数キャリア密度を低減する手法として、負の固定電荷を持ったパッシベーション膜を導入することも有効である。



結論

CIGSの結晶品質が向上し L_n が増加した場合には、裏面再結合速度を低減することで、 V_{oc} の更なる増加が期待できる。Ga/IIIグレーディング等を利用して裏面電極での少数キャリア密度を低減する方法、パッシベーション膜を導入する方法等により特性向上が期待できる。

参考文献

- [1] M. A. Green *et al.*, *Progress in Photovoltaics*, vol. 27, pp. 3-12, 2019.
- [2] Solar Frontierプレス発表, 2019年1月17日
- [3] J. Nishinaga *et al.*, *Applied Physics Express*, vol. 11, p. 082302, 2018.
- [4] L. Choubrac *et al.*, *Phys. Status Solidi A*, vol. 214, p.1600482, 2017.
- [5] J. Nishinaga *et al.*, *Applied Physics Express*, vol. 10, p. 092301, 2017.
- [6] M. Bugelman *et al.*, *Thin Solid Films*, vol. 361-362, pp. 527-532, 2000.

【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。