

3D 光学シミュレーションによる BaSi₂ 薄膜太陽電池のデバイス設計

Modeling of BaSi₂ thin film solar cells by 3D-optical simulation

筑波大学¹, デルフト工科大学², °山下 雄大¹, Rudi Santbergen², Olindo Isabella², 都甲 薫¹, 末益 崇¹

Univ. Tsukuba¹, TU Delft², °Yudai Yamashita¹, Rudi Santbergen², Olindo Isabella², Kaoru Toko¹, Takashi Suemasu¹

E-mail: bk201311068@s.bk.tsukuba.ac.jp

【背景・目的】

新規薄膜太陽電池材料として BaSi₂ に注目している。BaSi₂ は地殻中に豊富に存在する元素で構成される半導体でありながら、光吸収係数 ($3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ @ 1.5 eV) と少数キャリア拡散長 (10 μm) がどちらも大きいユニークな材料であり、禁制帯幅 (1.3 eV) も太陽電池に適している¹⁾。我々は最終的に、単接合で 25% を超える変換効率の実現可能な BaSi₂-pn ホモ接合太陽電池²⁾ をトップセル、Si や Ge をボトムセルとしたタンデム型太陽電池の実現を目指している。これまでに、1 次元のデバイスシミュレーションによってタンデム型太陽電池の設計が行われてきたが、反射率が高いことが原因で、BaSi₂ による光電流が小さいことが課題となっている。そこで本研究では、タンデム型に先立ち、単接合太陽電池に対して、反射防止に効果がある三次元ピラミッド構造を用いた光学的シミュレーションを行った。

【計算方法】

本研究では、GenPro 4 を用いて、3D 光学シミュレーションを行った³⁾。シミュレーションにおいては、分光エリプソメトリーにより実験的に測定した n-k データを用い、光吸収スペクトルを計算した。Fig. 1 にシミュレーションに用いた試料構造の概略図を示す。それぞれの膜厚は実際に作製されている BaSi₂ ホモ接合太陽電池の構造を踏襲し、ITO (80 nm) / a-Si (3 nm) / n-BaSi₂ (20 nm) / p-BaSi₂ (500 nm) / p⁺-BaSi₂ (20 nm) / Si substrate (200 μm) / Ag (100 nm) とした。今回は、3D テクスチャ構造を基板の表面・裏面に導入することで、反射防止・光閉じ込め効果を検証した。表面テクスチャには、Si 基板をケミカルエッチングすることで得られたピラミッド型テクスチャの AFM 像を用いた。また、本研究では、表面構造による光吸収を低減させるため、電子選択層 (electron selective layer; ETL) を n⁺-BaSi₂ から AZO に変えた、n⁺-AZO/p-BaSi₂ ヘテロ接合太陽電池の検討も行った。各層の膜厚は、AZO (50 nm) / ZnO (20 nm) とした。

【結果・考察】

Fig. 2 に、BaSi₂ ホモ接合太陽電池の光吸収スペクトルを示す。表面構造をフラットからテクスチャに変えることで波長 700 – 1100 nm の反射率が減少し、p-BaSi₂ による光吸収が 1.2 mA/cm² 増加した。一方で、裏面のテクスチャ構造による光閉じ込め効果は得られなかった。また、p-BaSi₂ における光吸収を阻害する最も大きい要因は ETL である n⁺-BaSi₂ 内での寄生吸収であることがわかった。光吸収係数の大きい BaSi₂ を ETL に用いる限り、この寄生吸収は避けられない。そこで、ETL に n⁺-AZO を用いた n-AZO/p-BaSi₂ ヘテロ接合太陽電池を検討したところ、寄生吸収が著しく減少した (Fig. 3)。p-BaSi₂ 内での光吸収はホモ接合時と比べて 10 mA/cm² 以上増加し、表面テクスチャ構造を用いると最大で 30.23 mA/cm² に達した。今後この構造をトップセルとしてタンデム型太陽電池を設計することで高い理論効率が得られると予想される。

【参考文献】

- 1) T. Suemasu and N. Usami, J. Phys. D: Appl. Phys. **50**, 023001 (2017).
- 2) T. Suemasu, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 07JA01 (2015).
- 3) R. Santbergen *et al.*, IEEE J. Photovolt. **7**, no. 3, 919–926 (2017).

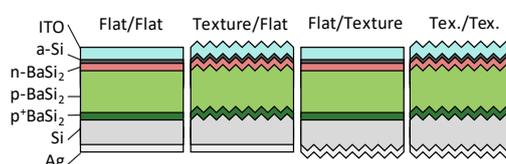


Fig. 1 Schematic images of simulated device structure.

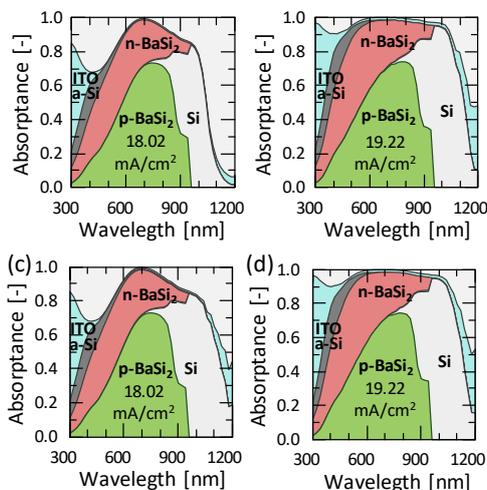


Fig. 2 Absorption spectra of BaSi₂ homojunction solar cells with (a) Flat/Flat, (b) Tex./Flat, (c) Flat/Tex., (d) Tex./Tex. Surfaces.

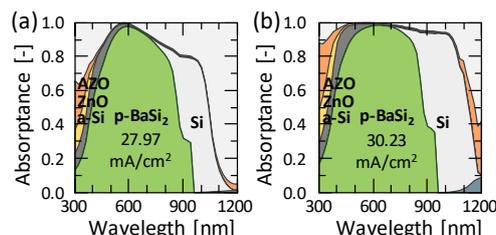


Fig. 3 Absorption spectra of AZO/BaSi₂ heterojunction solar cells with (a) Flat/Flat, (b) Texture/Flat surface.