

太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出
平成 23 年度採択研究代表者

| |
|----------------|
| H25 年度 実績報告 |
|----------------|

野田 進

京都大学 工学研究科
教授

フォトリソ・ナノ構造を活用した新しい光マネジメント技術の開発

§ 1. 研究実施体制

(1)「総合研究推進グループ(京大+シャープ)」

① 研究代表者:野田 進 (京都大学工学研究科、教授)

② 研究項目

本総合研究推進グループにより、フォトリソ・ナノ構造による新しい光マネジメント技術の解析および試料作製・評価を含めた本プロジェクト全体を遂行する。

§ 2. 研究実施の概要

本研究は、太陽光発電効率の飛躍的な向上を目指し、フォトニック結晶を核とするフォトニック・ナノ構造を活用した、新しい光マネジメント技術の開発を目指すものである。フォトニック結晶 (PC) の利用により、 Γ 点バンド端と呼ばれる特異点において、大面積での共振モードが形成されるという興味深い現象が生じることが、研究代表者によるこれまでの検討により明らかになっている。本研究では、図 1 に示すようなフォトニック結晶を組み込んだ薄膜太陽電池構造において、 Γ 点バンド端での大面積共振モードに光を結合させることで、特に Si の光吸収係数が低下する波長帯域 (600-1000nm) における光吸収率を大幅に増大させることを目指している。昨年度 (H24 年度) には、理論検討において、フォトニック結晶構造の導入により、フォトニック結晶のない平坦な構造と比較して、光吸収の増大が可能であることを示した。また、フォトニック超格子構造の導入などによって、ランダム構造に比べても、光吸収量が増大できる可能性も示した。

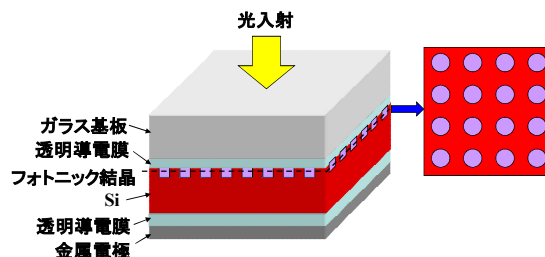


図 1: 本研究で研究対象とする、フォトニック結晶を有する薄膜太陽電池構造の模式図

本年度は、フォトニック結晶を導入した太陽電池構造の試作検討を行い、実験・理論両面からの光吸収増大に関する検討を行った。SiO₂ 層にフォトニック結晶構造を形成し、この上に Ag/GZO の裏面電極を成膜、そしてこの構造上に微結晶 (μ c) -Si ならびに ITO 層/メッシュ

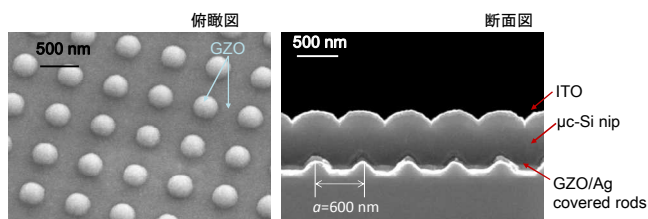


図 2: 作製した太陽電池の SEM 像

状 Ag 電極を順次成膜することで、フォトニック結晶構造を内包した太陽電池を作製した (図 2)。この際、欠陥を生じることなく成膜できる条件を探索し、あらかじめテーパ加工を施したロッドからなるフォトニック結晶構造を採用した。フォトニック結晶の格子間隔についても、500 nm 程度の光吸収層を成膜した際に先述のような欠陥が生じない条件を検討し、600 nm の格子間隔を用いた。これは、昨年度に報告した、格子間隔 \sim 300 nm の 2 倍超格子構造の採用に相当するものであり、多数のバンド端共振モードの活用が可能と期待される。このようにして作製した太陽電池の電流-電圧特性を測定した結果、図 3 に示すように、光吸収の増大によって、短絡電流密度が、15.0mA/cm² (平坦構造) から 19.6mA/cm²へ (フォトニック結晶導入構造) と 1.31 倍増大することを明らかにした。

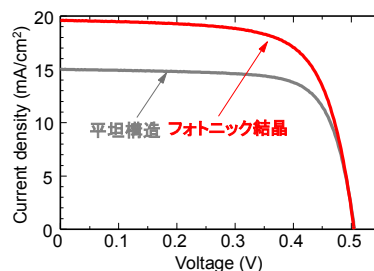


図 3: 太陽電池の I-V 特性の評価結果

さらに、図 2 に示す構造における光吸収量について、FDTD 法を用いた解析により、理論的にも検討を行った。デバイス表面の特徴的なドーム形状の効果や、透明導電膜 (ITO, GZO) の吸収なども考慮して解析を行い、 μ c-Si 層部分での光吸収量を求めた結果を、図 4 に示す。これにより、わずか 500nm という薄い光吸収層でも、標準太陽光に対して 25 mA/cm² を超える高い短絡電流密度が実現できる可能性が明らかとなった。

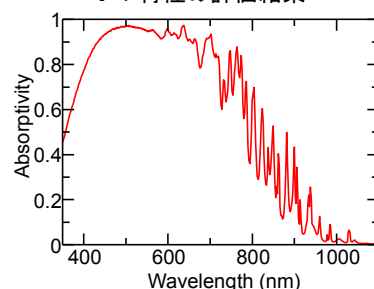


図 4: 太陽電池の光吸収スペクトルの計算結果

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国際)

1. Y. Tanaka, Y. Kawamoto, M. Fujita, and S. Noda, "Enhancement of broadband optical absorption in photovoltaic devices by band-edge effect of photonic crystals", *Optics Express*, vol. 21, Issue 17, pp. 20111-20118, 2013 (DOI: 10.1364/OE.21.020111).
2. Y. Kawamoto, Y. Tanaka, K. Ishizaki, M. D. Zoysa, T. Asano, and S. Noda "Structural optimization of photonic crystals for enhancing optical absorption of thin film silicon solar cell structures", *IEEE Photonics Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 4700110, 2014 (DOI: 10.1109/JPHOT.2014.2302800).
3. A. Oskooi, Y. Tanaka and S. Noda, "Tandem photonic-crystal thin films surpassing Lambertian light-trapping limit over broad bandwidth and angular range", *Appl. Phys. Lett.* vol. 104, pp. 091121, 2014 (DOI: 10.1063/1.4867892).
4. T. Inoue, M. D. Zoysa, T. Asano, and S. Noda "Single-peak narrow-bandwidth mid-infrared thermal emitters based on quantum wells and photonic crystals", *Applied Physics Letters*, vol. 102, pp. 191110, 2013 (DOI: 10.1063/1.4807174).
5. T. Inoue, M. D. Zoysa, T. Asano, and S. Noda "Filter-free nondispersive infrared sensing using narrow-bandwidth mid-infrared thermal emitters", *Applied Physics Express*, vol. 7, no. 1, pp. 012103, 2014 (DOI: 10.7567/APEX.7.012103).
6. M. Nishimoto, K. Ishizaki, K. Maekawa, K. Kitamura, and S. Noda "Air-Hole Retained Growth by Molecular Beam Epitaxy for Fabricating GaAs-Based Photonic-Crystal Lasers", *Appl. Phys. Express*, vol. 6, no. 4, 042002, 2013 (DOI: 10.7567/APEX.6.042002).
7. K. Ishizaki, K. Gondaira, Y. Ota, K. Suzuki, and S. Noda, "Nanocavities at the surface of three-dimensional photonic crystals", *Optics Express*, vol. 21, Issue 9, pp. 10590-10596, 2013 (DOI:10.1364/OE.21.010590).
8. K. Kitamura, T. T. Xu, and S. Noda, "Investigation of electric field enhancement between metal blocks at the focused field generated by a radially polarized beam", *Optics Express*, vol. 21, Issue 26, pp. 32217-32224, 2013 (DOI: 10.1364/OE.21.032217).

9. Y. Liang, T. Okino, K. Kitamura, C. Peng, K. Ishizaki, and S. Noda "Mode stability in photonic-crystal surface-emitting lasers with large $\kappa_{1D}L$ ", Applied Physics Letters, vol. 104, pp. 021102, 2014 (DOI: 10.1063/1.4861708).

10. A. Oskooi, M. D. Zoysa, K. Ishizaki, and S. Noda "Experimental Demonstration of Quasi-Resonant Absorption in Silicon Thin Films for Enhanced Solar Light Trapping", ACS photonics, (submitted).

(3-2) 知財出願

- ①平成 25 年度特許出願件数 (国内4件)
- ②CREST 研究期間累積件数(国内7件)