フォトニック結晶を導入した薄型単結晶シリコン太陽電池における光吸収の解析

Analysis of light absorption characteristics in very-thin single-crystalline silicon solar cells with photonic crystals

○長谷川 創[1], 石崎 賢司[1], 田中 良典[1], 野田 進[1] (1. 京大院工)
S. Hasegawa[1], K. Ishizaki[1], Y. Tanaka[1], and S. Noda[1] (1. Kyoto Univ.)
E-mail: hasegawasou@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

我々は、薄膜発電層を有するシリコン（Si）系太陽電池の変換効率向上に向けて、フォトニック結晶のバンド端共振効果を活用した広帯域の光吸収増大法を提案・実証してきた[1-4]。これまでに、理論的に、従来型の散乱構造を超える吸収増大効果が得られることを示すとともに[1]、実験的に、微結晶 Si 層の表面にフォトニック結晶（PC）を形成した構造をもつ～2 μm 厚の太陽電池を開発し、全微結晶 Si 膜からなる素子では最高となるアクティブエリア効率 11%を実証した[5]。本手法を、単結晶 Si 太陽電池へと適用していくことで、より一層の発電特性の向上が期待される。前回、～18.5 μm 厚の薄い単結晶 Si 層に、初期的な PC 構造として円錐状格子点をもつ三角格子 PC（周期 800 nm, 深さ～600 nm）を導入した素子を作製し、36.1 mA/cm^2 という、20 μm 以下の膜厚の単結晶 Si 太陽電池において最大の短絡電流密度を得ることに成功した[6]。今回、さらなる特性の向上に向けた検討として、～20 μm 厚の単結晶 Si 層における吸収特性について解析を行ったので、報告する。

図 1(a),(b)に、検討したモデルを示す。光を入射する面のみに PC を形成した構造を想定した。PC 構造の例として、周期を 900 nm とし、円柱孔状の格子点形状の PC(A)と、単位格子内に微細な構造を有する PC(B)を検討した。作製の容易さを考慮して、高/低の 2 段階の高さ（高低差 : 300 nm）からなる構造とした。また、比較のため、平坦構造および、PC と同じ高低差からなる疑似的なランダム構造についても解析した。各形状において、表面には、反射低減のための SiN_x 膜（厚さ : 80 nm）を設けた。図 1(c)に、Si 層での吸収スペクトルの解析結果を示す。平坦な構造においては、Si 層の厚さが厚いため、表裏面のファブリ-ペロ干渉により多数のピークを生じている。疑似的なランダム構造の導入により、干渉ピークが消え、なだらかなスペクトルとなりつつ、吸収率が増加する様子が見て取れる。これらに対して、PC 構造を導入することで、面内共振作用による吸収増大が得られる様子が分かる。ここで、周期を 900 nm としたことにより、900 nm 以上の波長において、斜め漏れ損失が生じないため、PC(A),(B)ともに、高い吸収率ピークが得られている。また、より微細な構造を含む PC(B)においては、長波長域での共振ピークの増大とともに、短波長域（<500 nm）における反射も減少し、吸収率が向上する傾向が見られた。今後、単位格子内の形状のより詳細な設計・解析が必要であるものの、高低差が 300 nm 程度の比較的浅い構造であっても、38.3 mA/cm^2 以上の短絡電流密度が期待出来ることが明らかとなった。詳細は、当日報告する。**[謝辞]** 本研究の一部は科研費の支援を受けた。

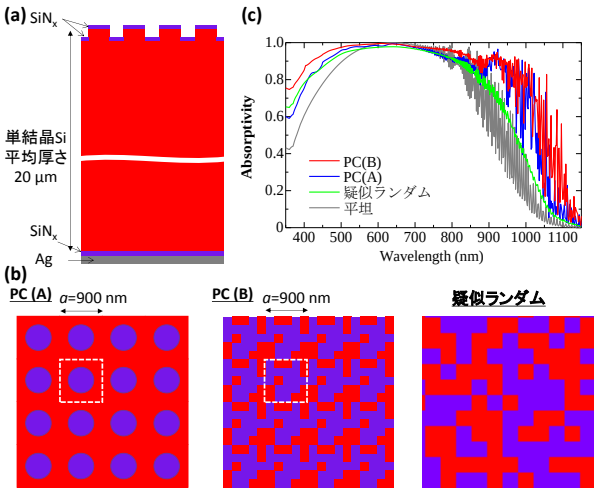

図 1. (a),(b) 断面および上面構造のモデル, **(c)** Si 層での吸収スペクトルの解析結果.

[文献] 1) Y. Tanaka, S. Noda, *et al.*, *Opt. Express* **21**, 20111 (2013). 2) Y. Kawamoto, S. Noda, et al., *IEEE Photon. J.* **6**, 4700110 (2014). 3) K. Ishizaki, S. Noda, *et al.*, *Opt.Express* **23**, A1040 (2015). 4) M. De Zoysa, S. Noda, *et al.*, *Appl. Phys. Express* **10**, 012302 (2017). 5) K. Ishizaki, S. Noda, *et al.*, *IEEE J. Photovolt.* **7**, 950 (2017). 6) 石崎, 野田, 他, 2017 年春季応物 16a-F202-2.