18p-E12-1

フォトニック結晶構造を有する微結晶シリコン太陽電池の基礎検討

Basic Studies on Microcrystalline-Silicon Solar Cells with Photonic-Crystal Structures 京大院工¹, シャープ(株)², 阪大院基礎工³ [°]石崎賢司¹, De Zoysa Menaka¹, 田中良典¹, 梅田尚実¹, 川本洋輔¹, 藤田奨也¹, 重田博昭^{1,2}, 冨士田誠之^{1,3}, 野田進¹ Kyoto Univ.¹, SHARP², Osaka Univ.³ [°]K. Ishizaki¹, M. De Zoysa¹, Y. Tanaka¹, T. Umeda¹, Y. Kawamoto¹, S. Fujita¹, H. Shigeta^{1,2}, M. Fujita^{1,3}, and S. Noda¹ E-mail: ishizaki@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

[序] 薄膜シリコン太陽電池において,光吸収層の吸収係数が減少する波長 600-1000 nm の帯域におけ る効率的な光閉じ込めの実現は,重要な課題である.我々は,光の波長オーダの周期構造を有するフ オトニック結晶において得られる,Γ点バンド端における大面積共振作用¹⁾に注目し,多数の共振モー ドを活用した広帯域の光閉じ込め効果による光吸収の増大法について検討を行っている²⁾.今回,実際 にフォトニック結晶構造を導入した微結晶シリコン(µc-Si)太陽電池を作製し,理論的に期待される 短絡電流の増大効果についての考察,および実験的な基礎検討を行ったので報告する.

[試料作製] 図 1(a)に示すような円錐形状のロッドからなるフォトニック結晶構造上に, Ag/ZnO:Ga 裏面電極, n/i/p型µc-Si, ITO/櫛形 Ag 表面電極の成膜を行い, サブストレート型太陽電池を作製した. フォトニック結晶構造は, 格子間隔を 600 nm の正方格子構造として, 電子線露光とドライエッチング により SiO₂膜に対して形成した. µc-Si 層はプラズマ CVD 法により成膜し, i 層厚さは約 500 nm とし た. ZnO:Ga および ITO 層はスパッタ法により成膜した. 同図(b)には, µc-Si/表面電極の成膜後の電子

顕微鏡像を示している. 同図より, フォトニック結晶の周期 構造が各層へと転写され, 特にデバイス上面はドーム構造と なっていることが分かる.

[理論解析および実験的基礎検討] 作製したフォトニッ ク結晶におけるバンド図を,図2に示す.格子間隔が600 nm であることに基づき,光吸収増大には同図の赤で囲った複数 のΓ点共振モードが作用することとなる.これは、以前に報 告した,格子間隔 275 nm のフォトニック結晶における 2×2 超構造効果に相当するものである²⁾.次に,図1のドーム状 の表面構造を踏まえてモデル化し, ITO 層および ZnO:Ga 層 の吸収も考慮してuc-Si 層における吸収スペクトルを解析し た. この結果, ~500 nm の i 層厚においても, 短絡電流密度 は、平坦構造の 17.0 mA/cm²から、25.7 mA/cm²にまで増大 しうることが分かった. この短絡電流密度(25.7 mA/cm²) と、一般に実験的に報告されている uc-Si 太陽電池の開放電 圧(0.52 V)および曲線因子(0.72)を考慮すると、~500 nm 厚のµc-Siであっても9.5%程度の極めて高い変換効率の実現 可能性が示唆された.一方,実験的には,第一試作において, 短絡電流密度の増大として、15.0 mA/cm²(平坦)から19.6 mA/cm²(フォトニック結晶)が観測された. EBIC 測定等か ら、フォトニック結晶構造上へのµc-Siの成膜条件が、十分 に最適化されていないことが判明しており、今後、µc-Si 成 膜条件の最適化(結晶化率の最適化等)を行い、さらなる光 吸収増大を図っていく予定である.詳細は当日報告する.



図1. 電子顕微鏡像. フォトニック 結晶構造上への, (a) Ag/ZnO:Ga 成膜後の俯瞰図,および (b) µc-Si/ITO 成膜後の断面図.



[謝辞] 本研究の一部は CREST の支援を受けた. [文献] 1) M. Imada, S. Noda, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **75**, 316 (1999). 2) Y. Tanaka, S. Noda, *et al.*, *Opt. Express* **21**, 20111 (2013).