

課題番号 : F-14-RO-0030
 利用形態 : 共同研究
 利用課題名(日本語) : LPCVD 法による多層膜 PIN 太陽電池の試作
 Program Title (English) : Fabrication Multi-layer PIN solar cell using LPCVD Method
 利用者名(日本語) : ミフタフル・フダ
 Username (English) : Miftakhul Huda
 所属名(日本語) : 群馬大学理工学研究院
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Gunma University

1. 概要(Summary)

量子ドット太陽電池は変換効率の理論限界を大きく超える可能性があるため、近年注目されている。量子ドット太陽電池は次の特性を持っている。(1)量子ドットのサイズを調整することで光吸収波長を選択することができる。(2)量子ドット中では、電子のエネルギー緩和時間が遅くなることが知られており、フォノン放出によるエネルギー緩和が起こる前に高いエネルギー状態の電子を取り出せる可能性がある。(3)超格子構造の量子ドット間では伝導帯および価電子帯にミニバンドが形成され、電子やホールが移動することが可能となる。

これまで量子ドット太陽電池の研究は、化合物半導体を利用し行われてきた。しかし、材料のコストや量産化の面を考えると最終的にはシリコンで実現するのが望ましい。最近の報告では、シリコン量子ドット太陽電池は、シリコン過剰層とストイキオメトリな層の多層膜を熱処理することでシリコン過剰層にシリコン量子ドットを偏析させるという方法で作成されている[1]。しかしながら、熱処理による量子ドット作成は量子ドットサイズの制御が難しく、均一な大きさの量子ドットを 3 次元的に規則正しく高密度で並べることができていない。このため、量子ドット太陽電池の特性を決定する要因については依然として不明な点も多く、基礎的な研究が必要である。

そこで我々は、真性ポリシリコン層と絶縁層の多層膜を P 型、N 型のシリコン層で挟んだ多層膜 PIN 型基板を用いて、ブロックコーポリマーの自己組織化の微細加工技術による 3 次元配列された量子ドットをもつ 3 次元超格子量子ドット太陽電池を提案し研究を行っている。

本研究では多層膜 PIN 型基板の試作を行う。試作後、実際に太陽電池特性測定を行う。そして、多層膜 PIN 型基板上にブロックコーポリマー自己組織化ナノドットを形成し、RIE エッチングによりパターン転写を行い、3 次元量子ドットを用いた太陽電池基板を試作する。

2. 実験(Experimental)

利用した主な装置:

酸化炉、燐拡散炉、汎用熱処理装置、LPCVD 装置 (Poly-Si 用)、走査電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、プラズマ CVD (PECVD) 装置

実験方法:

トンネル接合 PIN 型太陽電池は Fig. 1 に示す方法で作製した。太陽電池は Fig. 2 に示す方法で測定を行った。太陽電池のフィルム上に自己組織化ナノドットを形成し、Fig. 3 に示す方法でパターン転写を行い、3 次元量子ドット太陽電池を作製した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

実験では、Fig. 4 に示すように SiO₂ の dp の膜厚は 1 nm と 2 nm に 2 種類定めた。SiO₂ の dn の膜厚は 0.5 nm、1 nm と 2 nm に 3 種類設定した。さらに、pin 型の i 層は

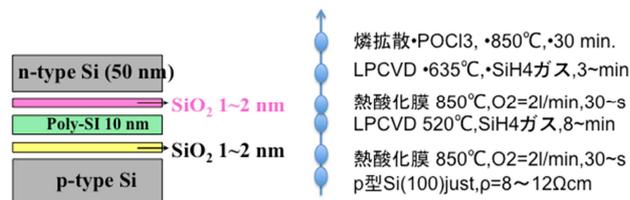


Fig. 1 Fabrication method of multilayer PIN-type solar cell

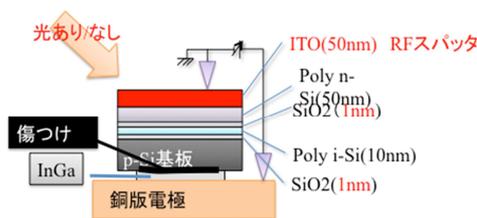


Fig. 2 Measurement method of solar cell

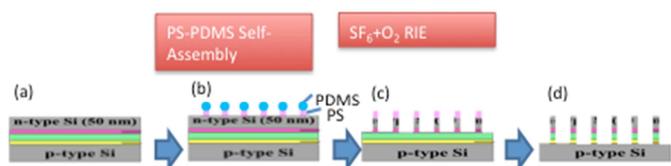


Fig. 3 Patter-transfer technique to multilayer PIN-type solar cell

Fig. 4(a~c)に示すように(a)1 レイヤー、(b)2 レイヤー、(c)3 レイヤーの多層膜太陽電池の基板を作製することが出来た。

作製した pin 型多層膜太陽電池の評価をするために、試料の IV 特性を測定した。Fig. 5 に示すように 3 レイヤーまで太陽電池の光発電を確認することが出来た。多層膜太陽電池においてレイヤーが多くなると薄膜の抵抗値が高くなり、Fig. 5 に示すように光発電率が小さくなることを今回の実験で確認した。

Fig. 6 に SiO₂ の膜厚を調整した pin 多層膜太陽電池の IV 特性を示す。SiO₂ の膜厚が厚くなると薄膜の抵抗が高くなり SiO₂ の膜厚の構成が dp=1、dn=1 の時、光発電率が一番高いことがわかった。また、Fig. 3 に示すように SiO₂ の膜厚が 2 nm の時も光発電を確認できた。

pin 型多層膜太陽電池の基板の作製において以下のよう

- ✓ i 層の数をさらに増やして多層膜太陽電池の基板を作製し、評価を行う。
- ✓ 上部の電極に ITO を採用し、光発電率の増加を期待する。

Fig. 3 に示した方法で dp=2、dn=1 の太陽電池基板に自己組織化ナノドットのパターン転写を行った。その結果を Fig. 7 に示す。実験では、ブロックコーポリマーの自己組織化ナノドットを多層膜太陽電池にパターン転写でき、IV 特性の測定により量子ドット型太陽電池の光発電の感度がフィルム型より約 10³ 倍上がったことを確認した。その結果を Fig. 8-9 に示す。

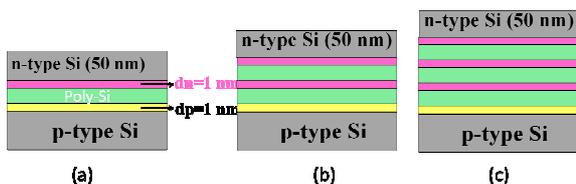


Fig. 4 Fabricated multilayer PIN-type solar cell. (a) 1 layer, (b) 2 layers, (c) 3 layers.

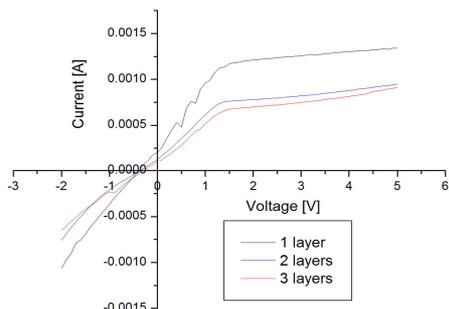


Fig. 5 IV characteristic of multilayer PIN-type solar cell

4. その他・特記事項 (Others)

(参考文献) [1] Y. Kurokawa, *J. J. App. Phys.*, **46**, L833 (2007).

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許 (Patent)

なし。

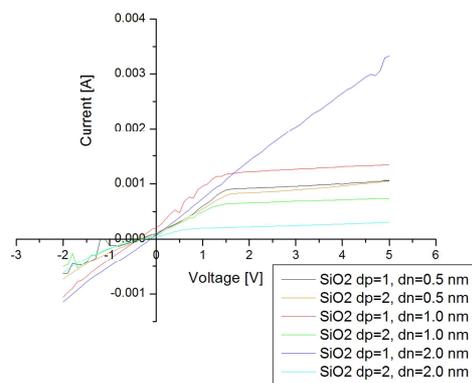


Fig. 6 IV characteristics of multilayer PIN-type solar cell with a different thickness of SiO₂ layers.

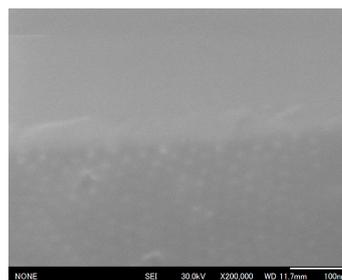


Fig. 7 Schematic image of multilayer PIN-type solar cell after pattern transfer (Tilt 45°)

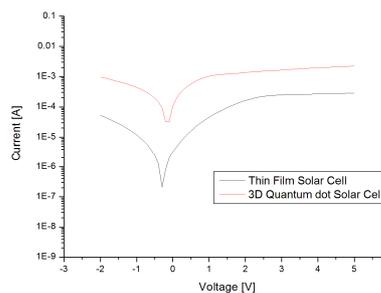


Fig. 8 IV characteristic of multilayer quantum dot solar cell

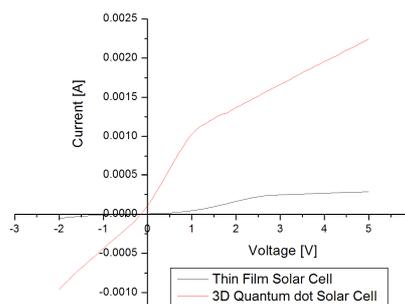


Fig. 9 IV characteristic of multilayer quantum dot solar cell