

Influence of PEDOT:PSS thickness acting as hole transport layer on electrical properties of Si heterojunction solar cells

工学院大学 工学部 電気電子工学科 高機能デバイス研究室

河内碧己

指導教員 相川慎也 研究協力者 野寺歩夢, 木菱完太, 小林亮太

キーワード: 太陽電池, ヘテロ接合, 膜厚, 透明, ショットキー接触

1. 緒言

市場に普及している太陽電池は、PN 接合 Si 太陽電池が主流であるが、効率の向上は限界に近づいてきている。Si ヘテロ接合太陽電池 (Silicon Heterojunction Solar Cell, SHJSC) は、PN 接合より製造が容易であるため低コスト化が期待できるとともに[1]、タンデム化により異なる波長域を吸収できる様々な材料の積層が可能のため、高効率太陽電池の実現が期待できる。

タンデム型構造の SHJSC が発電を行うには、太陽からの入射光を接合界面の空乏層にまで届ける必要がある。そのため、上部電極には高い導電率と透過率の両方をもたせる必要がある。ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフエン): ポリスチレン (PEDOT:PSS)は、高い正孔親和性と良好な透明性を持つ導電性高分子材料であり[2]、その優れた特性から透明電極かつ正孔輸送層として利用されている。

しかしながら、水溶液から調製されたままの PEDOT:PSS 膜は、通常、 $1 \text{ Scm}^{-1}$  未満の導電率であり、透明電極や正孔輸送層としての適応を考えると、さらなる導電率の向上が必要である[3]。Kim らは PEDOT:PSS の膜厚を変化させることにより、導電率を改善する試みを行っている[4]。しかしながら、膜厚の変化に対する透過率への影響は考慮されていない。

そこで本研究では、PEDOT:PSS 層の膜厚を調節することによる導電率と透過率の関係を明らかにする。さらに、PEDOT:PSS の膜厚が及ぼす SHJSC の光電流への影響調査も目的とする。

2. 実験方法

透過率、抵抗値測定用のサンプル作製にはガラス基板(15×15 mm<sup>2</sup>)を用いた。PEDOT:PSS を 2000, 3000, 4000, 5000 rpm でそれぞれ 30 秒間スピ

ートし、ホットプレート上で 120°C, 15 分間アニールを行った。

光電流および電流電圧特性を調査するため、以下に示す方法で SHJSC を作製した。まず、反応性イオンエッチング装置で Si 基板表面の酸化膜を CF<sub>4</sub> で除去した。Si の親水処理のため、エッチング後の基板に対し、大気中 700°C, 10 分間で表面を熱酸化させた。成長させた酸化膜の上に PEDOT:PSS を 2000, および 5000 rpm でスピコートし、120 °C, 15 min 大気雰囲気中でアニールした。その後、前面電極として Boron ドープ In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を 100 nm, 背面電極として Cu 電極を貼り付けた。作製した太陽電池の概略断面図を Fig.1 に示す

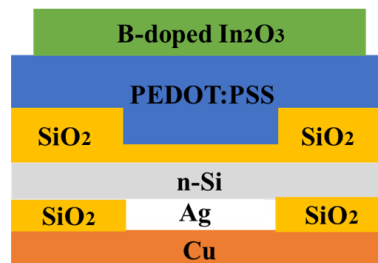


Fig.1 SHJSC の断面概要図

3. 実験結果及び考察

PEDOT:PSS の膜厚を変化させたサンプルの透過率と抵抗値を Table 1 にまとめた。また、Fig. 2 に透過スペクトルを示す。

Table 1 PEDOT:PSS の回転数, 膜厚, 平均透過率およびシート抵抗値

回転数 (rpm)	膜厚 (nm)	平均透過率 (%)	シート抵抗値(MΩ)
2000	250-360	89.3	2.16
3000	170-200	89.8	2.34
4000	70-100	89.8	2.69
5000	60-80	90.0	2.82

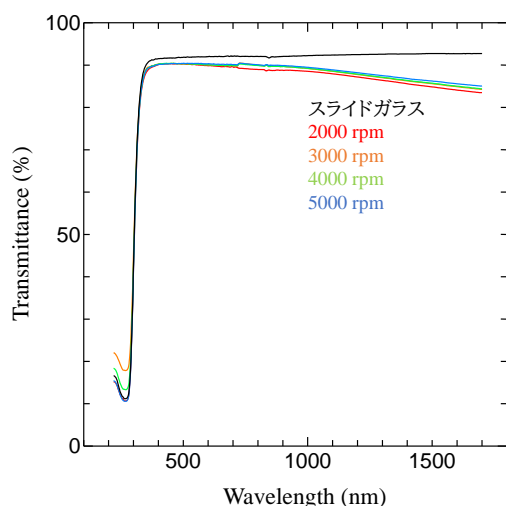


Fig.2 PEDOT:PSS の透過スペクトル

膜厚の変化による透過率と抵抗値の関係が観測された。透過率に関しては、可視光域から Si が発電に利用する事のできる近赤外線域までの波長領域 (350~1100 nm)において、いずれの回転数においても 85%以上の高い透過率を示した。一方、回転数が上がるごとにシート抵抗値の増加が見られ、全体的に高い値を示した。この結果は、基板表面のパーティクルによる膜の乱れに起因すると考えられる。Fig.3 に典型的なサンプルの光学顕微鏡像を示す。

次に、PEDOT:PSS の膜厚を調節した際の SHJSC の  $J$ - $V$ 特性を Fig. 4に示す。Table 2 には、PEDOT:PSS の回転数と得られた光電流密度をまとめた。PEDOT:PSS の膜厚を変化させた結果、Fig. 4 および Table 2 に示すようにわずかではあるが、光電流に約 1.16 倍の差が確認された。この結果は、透過率が 2000 rpm のときよりも 5000 rpm のときの方が高い値を示し、より多くの光が接合界面に届いたからであると考えられる。

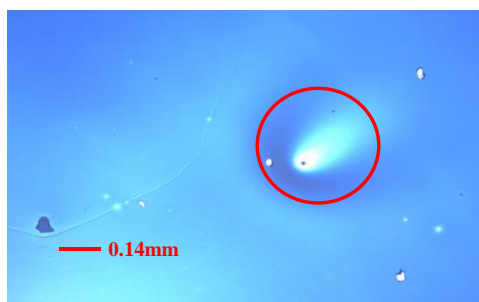


Fig. 3 基板表面のパーティクルの顕微鏡像

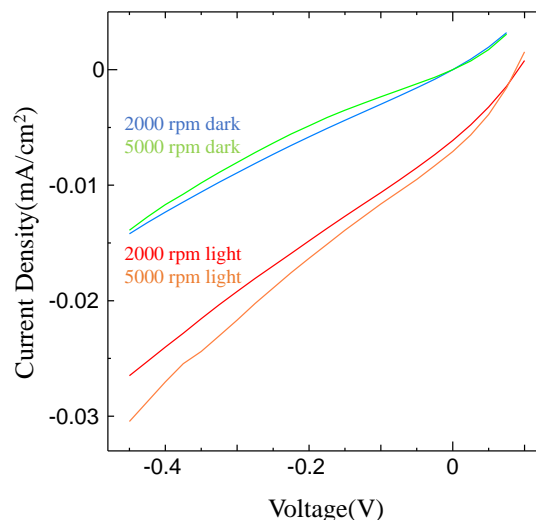
Fig.4 PEDOT:PSS の膜厚依存  $J$ - $V$  特性

Table 2 作製した SHJSC の PEDOT:PSS の膜厚と光電流密度

回転数(rpm)	光電流密度( $\mu$ A/cm <sup>2</sup> )
2000	6.13
5000	7.09

#### 4. 結論

本研究では、PEDOT:PSS の膜厚を調節し、透過率と抵抗値の関係を明らかにした上で光電流への影響を調査した。その結果、膜厚変化に対し、透過率と抵抗値のトレードオフの関係が観測された。また、SHJSC を作製した結果、光電流に関しては、膜厚が薄い 5000 rpm の膜の方が、より多くの光電流が生成されることが確認された。これは、高い透過率のためだと考えられる。

#### 5. 参考文献

- [1] Y. Liu *et al.*, Materials Science and Engineering R, 142, 100579 (2020).
- [2] Q. Li *et al.*, Nanoscale Research Letters, 12, 1-8 (2017).
- [3] J. Ouyang *et al.*, Displays, 34, 423-436 (2013).
- [4] Y. Kim *et al.*, Organic Electronics, 10, 205-209 (2009).