

Application Note

島津アプリケーションノート No.7(電機・電子)



Electric and Electronic Industry

薄膜シリコン太陽電池の透明導電膜の多角的評価

杉岡幹生 藤井岳直
M.SUGIOKA T.FUJII

1.はじめに

太陽電池は、結晶シリコン型、薄膜シリコン型、化合物系型(CIGS 等)、有機系(有機薄膜型、色素増感型)等に分類されます。その中で、現在製造されている太陽電池の約 9 割が結晶シリコン型太陽電池とされています。今後は原料シリコンの使用量が抑えられる薄膜シリコン型の普及が期待されています。

薄膜シリコン太陽電池の高効率化のためには、基板の積層技術やパターニング技術、表面テクスチャリング技術の向上などが必要とされます。

ここでは、薄膜シリコン太陽電池に使用される透明導電膜(以下、TCO^{※1}膜)の評価を走査型プローブ顕微鏡、紫外可視近赤外分光光度計、レーザー顕微鏡を用いて行った結果を報告します。

走査型プローブ顕微鏡では表面テクスチャの観察、紫外可視近赤外分光光度計では透過率の評価、レーザー顕微鏡ではレーザーパターニングの観察を行っています。

※1 TCO: Transparent Conductive Oxide

2. ガラス基板上TCO膜の3次元形状観察

2-1 走査型プローブ顕微鏡

走査型プローブ顕微鏡 (SPM) は微小な探針を試料表面に近づけて試料-探針間の力を検出しながら走査し、表面を三次元的に観察する装置です。観察範囲が 100 nm~100 μm, 観察倍率では 1,000 倍~百万倍以上で微細構造の観察が行えます。得られた試料表面の三次元凹凸像からは任意の断面形状解析や粗さ解析などが行えます。

2-2 ナノサーチ顕微鏡

図 1 のナノサーチ顕微鏡 SFT-3500 は SPM とレーザー顕微鏡のハイブリッドタイプの顕微鏡です。大型試料対応の試料ステージを搭載し、各製造工程における太陽電池セル試料を切断加工などの前処理なしにレーザー顕微鏡で位置決めし、そのまま SPM 観察が可能です。

2-3 データ例

薄膜シリコン太陽電池では光吸収層への太陽光の導入量を増やすために図 2 に示す表面テクスチャが形成されます。

図 3 はナノサーチ顕微鏡を用い、SPM による TCO 膜付きガラス基板の表面テクスチャを視野口 3 μm で観察したものです。表面の微細なピラミッド形状が観察されています。図 4 に示す断面形状解析から、このピラミッド形状は平均 0.3 μm のピッチ幅と平均 35° の傾斜角度を持っていることがわかります。また、表面粗さ解析により、平均面粗さ Ra 値は 28nm と計測されました。



図1 レーザーとSPMのハイブリッド顕微鏡
ナノサーチ顕微鏡 SFT-3500

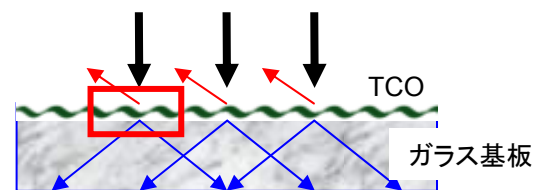


図2 TCO膜成膜および光閉じ込め効果のための表面凹凸テクスチャ

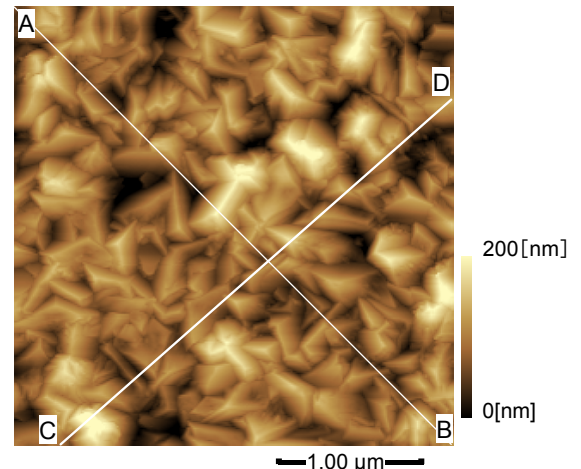
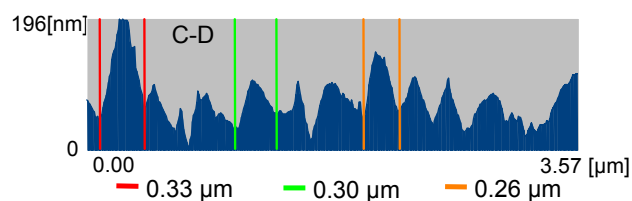
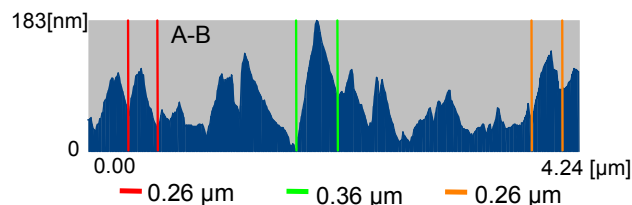
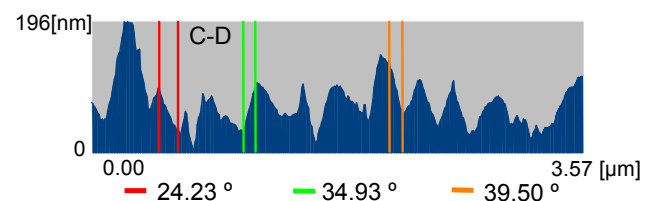
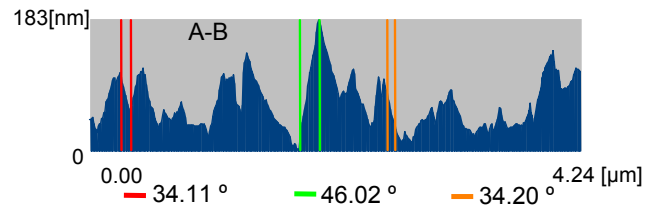


図3 TCO膜 表面テクスチャのSPM凹凸像



ピッチ幅の計測 (平均値 0.3 μm)



傾斜角度の計測 (平均値 35°)

図4 SPM 断面形状解析

3. TCO膜付きガラス基板の面内透過率分布測定

3-1 紫外可視近赤外分光光度計

紫外可視近赤外分光光度計を用いると、基板や膜の透過率や反射率を測定することができます。TCO膜は光を透過し且つ電気を通す性質を持つ膜ですが、それが成膜されたガラス基板の面内透過率分布を調

べることは TCO 膜及びガラス基板の評価において重要です。今回、図 5 の島津・紫外可視近赤外分光光度計 SolidSpec-3700 に、図 6 に示したオート X-Y ステージを装着し、これに図 7 のように TCO 膜付きガラス基板を設置して面内透過率分布を測定しました。



図5 SolidSpec-3700

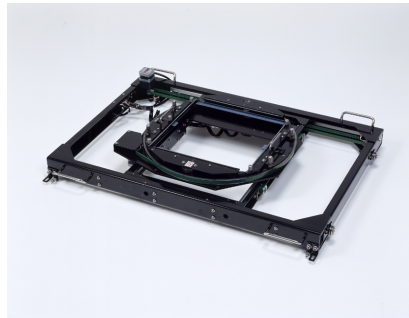


図6 オートX-Yステージ

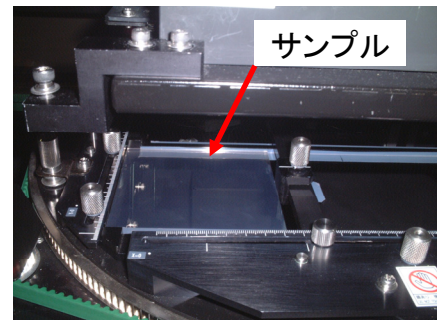


図7 サンプルを設置した状態

3-2 データ例

オート X-Y ステージを用いて TCO 膜付きガラス基板 (100 mm × 100 mm, 厚み 1.1 mm) の面内 16 箇所における直線透過率のスペクトル測定を行いました。光束の大きさは 3 mm × 7 mm で、図 8 に示すようにガラス面側から光を試料に照射しました。

250 nm ~ 2000 nm の波長範囲で自動測定を行いました。16 箇所の測定ポイントのうち 4 ポイントのスペクトル (600 nm 付近の拡大図) を図 9 に表示します。さらに 16 ポイントの 600 nm の面内透過率分布をグラフ化したものを図 10 に示します。これらの結果から本試料では 600 nm の波長で数%のばらつきがあることがわかります。

このようにオート X-Y ステージを使用した自動測定は、ガラス基板の面内透過率分布など太陽電池材料の評価に有効であることがわかります。

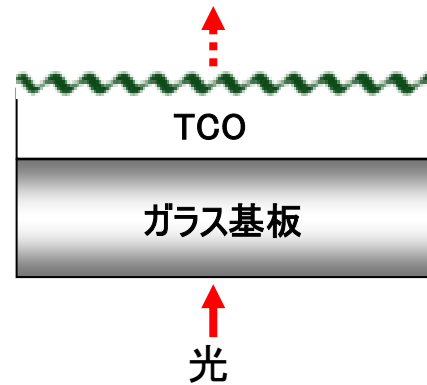


図8 測定状態の模式図

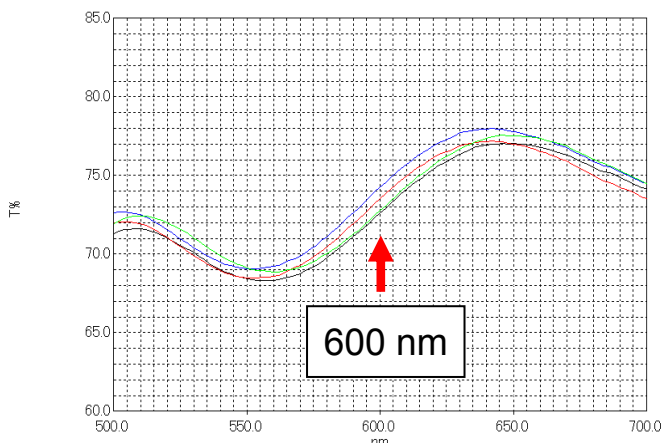


図9 4ポイントの透過率スペクトル

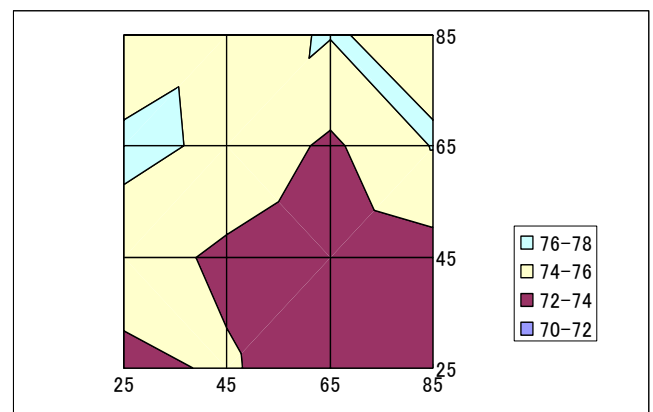


図10 面内透過率分布

4. ガラス基板上TCO膜のレーザーパターニング形状観察

4-1 3D測定レーザー顕微鏡

図 11 の 3D 測定レーザー顕微鏡を用いると SPM よりも広域の mm \sim μ m 視野を観察・計測することができます。薄膜 Si 太陽電池では TCO 膜にレーザーを照射することによって図 12 に示す P1 パターニングと呼ばれる素子分離を行います。パターニング幅・深さの数値評価やクラックの有無などの観察は、各工程の最適化のために重要な評価項目となります。

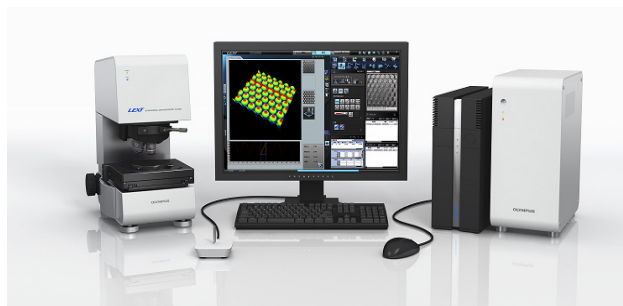


図11 3D測定レーザー顕微鏡 OLS4000

4-2 データ例

図 13 はレーザーの照射条件が異なる 2 種類のパターニング形状を 3D 測定レーザー顕微鏡で比較した結果を示します。レーザー照射条件によりパターニングの深さと幅が異なっていることが明確に観察されています。パターニング深さの計測からは工程における最適な素子分離条件が評価されます。

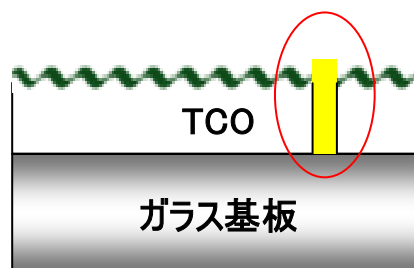


図12 TCO膜のP1パターニング

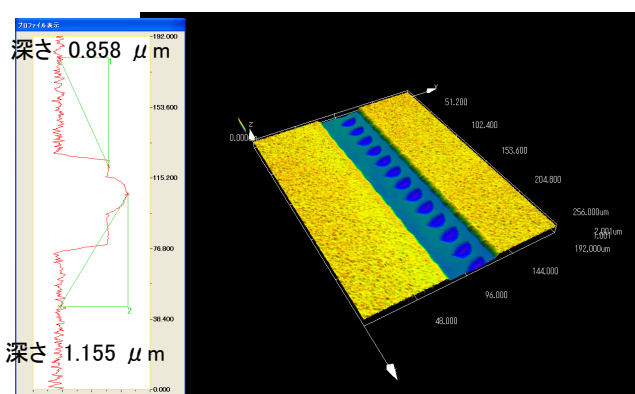
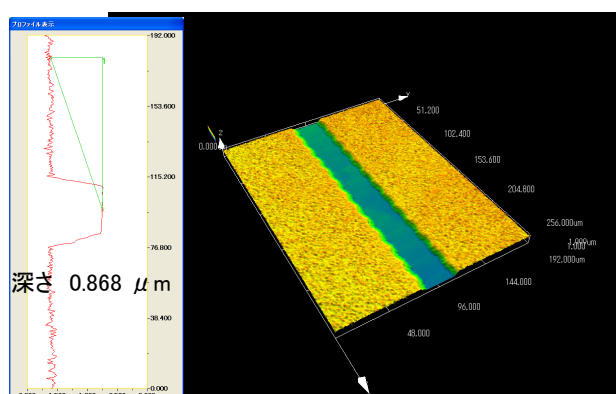


図13 レーザーの照射条件が異なる2種類のパターニング形状の観察結果

5.まとめ

薄膜シリコン太陽電池の TCO 膜の評価例として、走査型プローブ顕微鏡による表面テクスチャの微細な形状観察とその形状パラメータの数値化、紫外可視近赤外分光光度計とオート X-Y ステージを用いた広域な面内の透過率分布の測定例、および 3D 測定レーザー顕微鏡による素子分離レーザーパターニングの形状評価例を報告しました。

太陽電池の各製造工程における部品・製品を様々な手法で、かつそのままの状態で調べることは、工程の最適化と性能向上のために大変に重要です。

本アプリケーションノートは、太陽電池のセル製造工程の試料を非破壊で評価したデータ例です。

* 本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。

初版発行 2010年3月