

太陽電池講座 (第1講)

J. Jpn. Soc. Colour Mater., 96 [7], 248-252 (2023)

結晶Si太陽電池におけるセル高効率化とモジュール信頼性に関する研究動向

増田 淳*†

*新潟大学自然科学系カーボンニュートラル融合技術研究センター 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地 (〒950-2181)

† Corresponding Author, E-mail: a-masuda@eng.niigata-u.ac.jp

(2023年4月7日受付, 2023年4月24日受理)

要 旨

現在主流であるp型単結晶裏面不動態 (PERC) 太陽電池に置き換わる技術として, n型単結晶Siウエハを用いた各種太陽電池の研究開発が進展している。一方で, 結晶Si太陽電池の変換効率は商用サイズウエハにおいても理論限界効率に迫りつつある。さらなる変換効率向上には異なるバンドギャップの太陽電池を組み合わせた多接合化の技術開発が必要である。最近では, ペロブスカイト太陽電池と組み合わせたペロブスカイト/結晶Siタンデム太陽電池が注目されている。変換効率の向上に加え, 信頼性の向上による生涯発電量最大化が太陽光発電のいっそうの普及拡大に必要な不可欠である。太陽電池モジュールの発電性能の低下要因と信頼性向上のために必要なモジュール技術についても言及する。

キーワード: 結晶Si太陽電池, n型単結晶Siウエハ, ペロブスカイト/結晶Siタンデム太陽電池, 太陽電池モジュール

1. はじめに

太陽光発電の導入普及は加速度的に進行しており, 2021年の世界の累積導入量は945.4 GWに達した¹⁾。さらに, 2022年6月末までに1 TWを突破したと報じられている²⁾。世界の全発電量に対する太陽光発電の占める割合は未だ5%であるものの¹⁾, 日本では10%を超えて世界でも8番目に位置する¹⁾。世界の再生可能エネルギーの設備容量に限れば, 太陽光発電の占める割合は55%にも達している¹⁾。このように, 太陽光発電が加速度的に普及した大きな要因は各種政策によるものも大きい, モジュール価格の低下が最大の要因となっている。太陽電池モジュールのスポット価格は, 2022年には0.23 US\$/Wまで下落した³⁾。技術的には, 結晶Si太陽電池が市場の大半を占めることはこれまでと変わりなく, 2021年の市場占有率は96.6%に達した¹⁾。一方で, 2015年には70%程度を占めていた多結晶Si太陽電池の割合が急落し, 2022年には85%以上がp型単結晶Si太陽電池, 10%程度がn型単結晶Si太陽電池に置き換わっている³⁾。また, ウエハに関しても薄型化と大型化が進行し, 現在の平均厚さは160 μm , サイズはM10 (182.0 mm角)が主流となりつつある³⁾。

2. 結晶 Si 太陽電池の種類

図-1 (a) に最も基本的な結晶Si太陽電池であるAl裏面電界 (Al back-surface field; Al BSF) 型太陽電池の断面構造を示す。この太陽電池では, p型単結晶もしくは多結晶SiウエハにPを熱拡散して形成したpn接合側を光受光面とし (以降, 光受光面側を表面側, 光受光面と逆側を裏面側と呼ぶことにする), n層 (エミッタ層と呼ぶ) 上にプラズマ化学気相成長法でSiN_x反射防止膜を形成する。さらに, SiN_x膜上にAg集電極を, 裏面のp層 (ベース層と呼ぶ) 上にAl全面電極をスクリーン印刷で形成した後, 焼成する。この際, 表面側ではAg電極がSiN_x層を貫通し (ファイアスルーと呼ぶ) エミッタ層とコンタクトする。裏面側ではp層にAlが拡散することによりp⁺層となる。p層とp⁺層の間に発生する電界により, 裏面近傍の電子がベース層領域に追い返され, 裏面近傍でのキャリア再結合が抑制される。このことが, この太陽電池をAl BSFと呼びわかれである。多結晶Si太陽電池においては, SiN_x膜中に含まれるHがファイアスルー時に多結晶Si粒界をパッシベーションすることも利点である。今から10年前の2013年には結晶Si太陽電池生産量の90%以上はAl BSF太陽電池であった⁴⁾。しかし, 2022年の統計ではAl BSF太陽電池の割合は全生産量の5%にも満たず³⁾, ここ10年で, 図-1 (b) に断面構造を示す裏面不動態 (passivated emitter and rear cell; PERC) 型太陽電池に急速に置き換わった。PERC太陽電池もAl BSF太陽電池同様, 基本的にはp型ウエハを用いる。図-1 (a), (b) に示されるように, PERC太陽電池においても, 裏面以外の構造はAl BSF太陽電池と同一である。PERC太陽電池においては, 裏面にAlを拡散させてp⁺層を形成するのではなく, 裏面にパッシベーション膜を形成することでベース層との界面での界面準位を低減する。パッシベーション膜にはコンタクトホールを形成して, 裏



〔氏名〕 ますだ あつし
〔現職〕 新潟大学自然科学系 教授, カーボンニュートラル融合技術研究センター 副センター長
〔趣味〕 スポーツ観戦
〔経歴〕 1996年金沢大学大学院自然科学研究科博士課程修了, 博士 (工学)。1996年北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究科助手, 2005年産業技術総合研究所, 太陽光発電研究センター副研究センター長等を経て, 2020年新潟大学自然科学系教授, 現在に至る。研究分野は, 太陽光発電, 薄膜電子材料。令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門)。

【図表について】 電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai-char/ja/