

表面技術

Journal of The Surface Finishing Society of Japan

No.
02
2018 Vol.69

HYGIEX 69(2) 57-92(2018)

小 特 集

光, UVを利用した表面処理



一般社団法人 表面技術協会

<http://www.sfj.or.jp/>

光照射を利用した電気めっきの新方式

(著) ブルース・W・リー^a, (訳) 安藤 直美^b

^a マクダーミッド・エンソン・エレクトロニクス・ソリューションズ社(アメリカ合衆国, コネチカット州, ウォーターベリー, フレート通り 245)

^b マクダーミッド・パフォーマンス・ソリューションズ・ジャパン(株)(〒254-0082 神奈川県平塚市東豊田 480-28)

Light Assisted Plating: A Novel Method of Electro-Deposition

Bruce W. LEE^a (auth.) and Naomi ANDO^b (trans.)

^a Global Applications Manager - Photovoltaics, MacDermid Enthone Electronics Solutions (245 Freight Street, Waterbury, CT 06702, USA)

^b Senior Application Manager-Electronics Solutions, MacDermid Performance Solutions Japan K. K. (480-28 Higashi-Toyoda, Hiratsuka-shi, Kanagawa 254-0082, Japan)

Keywords : Photovoltaic, Light-Induced Plating, Nickel Plating, Copper Plating, Immersion Silver

1. はじめに

光照射を利用した電気めっきは、太陽光発電産業では光誘導めっき(LIP)としてよく知られている独自のめっき方法である。LIP方式を利用して、太陽電池のシリコン表面に直接めっき金属を析出させる。LIPは、2000年代初頭から太陽電池のめっきに使用されており、それが大規模に太陽電池の製造環境で採用されるようになったのはつい最近のことである。

LIP方式は、太陽電池の光起電力効果を利用して、シリコン表面への金属の析出を行うという点で電気めっき方式として独自の方法である。光起電力効果は1839年に発見され、材料が光にあると電圧または電流が発生する現象と定義される。この光起電力効果を電気めっきに利用して金属化を行うLIP方式によって、シリコンセル表面全体へのめっき厚みの均一性が大幅に改善され、より電流密度を高めためっきが可能になった。

2. 背景

現在製造される太陽電池の大半が、シリコンインゴットから切断された156mm角のシリコンウェーハを原材料としている。シリコンウェーハはその後、一連の処理工程を経て、太陽電池としての機能を持つものとなる。基本的なステップとしては、表面処理、ドーピング、反射防止膜の形成が行われ、最終的に電極を構成するための金属膜のスクリーン印刷を行う。スクリーン印刷が本質的に制約を持つために、電極形成がめっき方式に代替されるものと期待されている。スクリーン印刷の制約とは、シリコン表面との表面接触抵抗、高い体積抵抗率、低いアスペクト比、高コストなどである。太陽電池におけるスクリーン印刷による電極形成は、太陽電池全体の製造コストの約35%~40%を占めると推定される。

LIP方式は、太陽電池の片面だけに使用される。片面だけ

に限定されるのは、代表的な太陽電池は本質的にp-n型ダイオードであるためである。これは、光起電力効果による電流がシリコン結晶から1方向にのみ流れることを意味する。光子(光)がシリコンに吸収されると、シリコン内の電子を励起し、シリコン半導体基板内の電子が移動できる状態となる。この移動性がそれまで電子が共有結合していたところに「ホール」を形成する。さらに隣接電子がその生成されたホールに移動することになり、その結果、シリコン結晶全体にホールが形成される。代表的な太陽電池の裏面は、全面にアルミニウムが塗布される。この裏面層は、裏面電極(BSF)と呼ばれる。この裏面電極は、シリコンセル内に生成された電子を反対方向に「押しやる」役目を果たし、それが電極によって集められる。LIP方式によるめっき処理により、電池の正面側(太陽側)に電極(グリッド)を形成する。LIP方式による代表的なp-型シリコン太陽電池の例を図1に示す。

3. 電極の形成

めっき開始前に、シリコン層をまず露出させる必要がある。すでに述べたようにセル正面の表面には、反射防止膜が形成されている。この反射防止膜(ARC)は、通常、窒化ケイ素(SiNx)の薄膜である。このARC層は表面反射を減少させるので、より多くの光子がセル内に入り、最終的には、セルの変換効率を高める。このSiNx層は、導電性ではないので、めっき処理の段階では、めっきレジストとしての役割を果たす。ここでは、レーザーを使用して、SiNxを除去し、導体グリッドパターンを形成させ、完全にシリコンを露出させる。レーザーによる除去処理は、LIP方式において品質に大きく影響する重要なプロセスである。レーザーエネルギーが多すぎても少なすぎても、シリコンへのめっき金属の密着が不十分なものとなる。SiNx層を完全に除去すると共に、シリコン表面にダメージを与えない適切なタイプのレーザーを使用

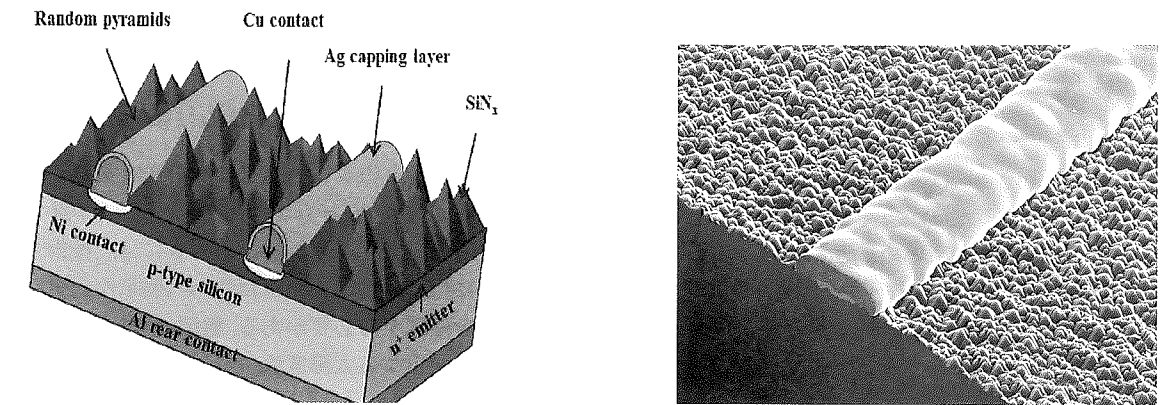


図1 LIP方式による代表的なp-型シリコン太陽電池の例

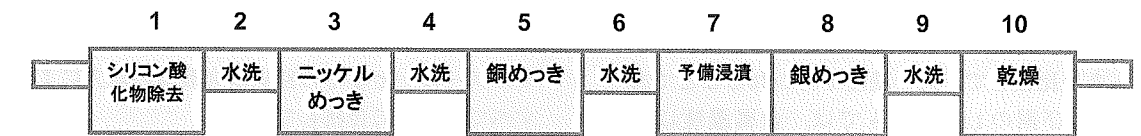


図2 めっきによる電極形成の一般的な工程

することも重要である。

シリコンが露出し、導体グリッドパターンが形成されると、セルへのめっきが可能になる。多くの太陽電池設計では、ニッケル、銅、銀の金属の多層めっきにより電極(導体グリッドパターン)を形成する。それぞれの金属が構造全体において、それぞれ固有の役割を果たす。めっきによる電極形成の一般的な工程を図2に示す。以下に述べるプロセスでは、ニッケルと銅めっきのみがLIP方式を使用していることに留意することが重要である。銀めっきは、一般的に「置換」プロセスであり、銅表面への金属めっきを行う上で電気接点や光を必要としない。

最初のステップで、シリコン表面のシリコン酸化物を除去する。この事前のクリーニング手順は、良好な通電接点を確保し、その後のニッケルめっきの密着性をよくするためにを行う。

ニッケル層は、金属導体グリッド(電極)のシリコンとの通電接点の役割を果たすだけでなく、ニッケルの上にめっきされる銅とのバリア層としての役割も果たす。条件によっては、銅がシリコンに拡散し、セルのp-n接合を破壊する可能性があるため、シリコンと銅の間には、ニッケルのバリア層が必要である¹⁾。代表的なニッケルめっきの厚さは、約1μm

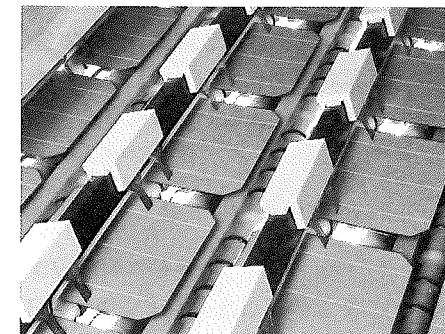


図3 水平搬送式のLIPめっき装置(RENA GmbH製)

である。

銅は、太陽電池の導体グリッドを構成するフィンガー電極とバスバー電極のバルク導体として使用される。銅めっきの厚さは、セルの設計上のバスバー電極の数によって異なる。一般的に、設計上のバスバー電極が多くなるほど、銅めっきの厚さは薄くなる。銅は、その低い抵抗率と価格の安さから、バルク導体金属としてよく使われる。

4. LIPめっき処理

すでに述べたように、LIP方式では、セル基板の光起電力効果の強みを生かすことができる。これを行うには、発光源を組み込んだ特殊なめっき装置を使用する。発光源は、通常、高出力のLED管または配列装置で、めっき液中に設置される。光源は、近接してめっき陰極(セル)に向けられているため、セルは最大限の光エネルギーを吸収することができる。めっき装置メーカーによって、コンベヤー化されたシステムでセルを水平方向または垂直方向に搬送する方式がある。図3の装置は、RENA GmbH製の水平搬送式のLIPめっき装置である。このタイプの装置では、セルが水平ローラー上を移動し、各種のめっき、洗浄、乾燥処理が行われる。このめっき装置

に独自の特徴的な機能は、セルの下部のみが薬品に浸漬された状態であり、上部は、めっき処理全体を通して、終始、乾燥状態であることである。電気接点にはブラシを用いるが、これは、めっきされないセルの裏側に接触している。LIP方式によるめっきでは、光の強度は非常に重要である。光源が明るいほどセル内に発生する電流が多くなるためである。その結果、明るいほど電流密度が高いめっきとなり、めっき装置のサイズを縮小することができる。

光源の波長とめっき液の吸光波長間の適合が研究されてきたが、ほとんど利点がないことが立証されている。波長適合の考え方の背景には、めっき液の光吸収による損失を最小限に抑えられる波長の光を発光する光源の使用がある。市販されているLIPめっきシステムは現在、白色光を使用しており、銅めっきの代表的な電流密度は20 ASD程度である。

LIPめっきの独自の側面の1つは、めっき液の金属濃度が通常の電気めっきと比較して、低い濃度で行われることである。ニッケルおよび銅のLIPめっきでは、金属濃度は約20 g/Lに保たれている。金属濃度が低いと、セルに到達する光量を減らすめっき液中の金属による「光の遮断」が少なくなる。酸規定度、温度、添加剤濃度、およびホウ酸などのその他のすべての薬剤成分は、通常の電気めっきシステムと同程度に維持されている。

LIP方式の主要なメリットの1つが、陰極表面全体へのめっき厚みの均一性が大幅に改善されることである。金属析出のための陰極電流は、光起電力によってシリコンセル内部から表面に均一に給電されるため、電流密度分布のばらつきの影響が著しく改善される。これは、直接シリコンに金属めっきを行うときに特に重要である。シリコンはもともと高い電気抵抗を持つためである。LIP方式を使用しないと、シリコン上への金属析出時の均一な核形成が行われず、めっき厚みに大幅なばらつきが発生する恐れがある。

ニッケル、銅、銀の多層めっきの後に、セルは「アニーリング」処理される。このアニーリング処理は、通常、加熱と冷却を制御するベルト炉で行われる。アニーリング処理の目的は、シリコンとニッケル間にニッケルシリサイド(NiSi)の金属間化合物層を形成させることにある。このニッケルシリサイド層は、2つの機能を持っている。まず、シリコンとニッケル間の接触抵抗を改善し、次にニッケルとシリコン間の密着性を改善する²⁾。アニーリング処理をしなくても良い結果

が得られるとの一部の研究もあるが、めっき後にそれを行うのが業界標準となっている。

5. おわりに

他の電子産業市場に比べて、太陽光産業は、生産された製品が少なくとも20年もの寿命を持つという点で独自のものがある。高いレベルの信頼性を得るには、技術と材料の変更を厳密に検証、試験し、信頼性への要求が達成されているかどうかを確認する必要がある。信頼性を確保するために、めっき技術を使用する太陽電池、特にLIPは、すべて標準化されたEIS試験を行っている。試験は、LIP技術によって製造したセルを用いてフルサイズモジュールを製造し、その後、標準化された様々な衝撃試験および熱サイクル試験をモジュール単位で行う。モジュール試験は、通常、独立した第三者機関にて行われる。LIP技術によって製造されたモジュールは、セルメーカーと多くの独立研究機関の両方によって行われるすべての試験に合格している³⁾。

1990年代末から太陽電池のめっき法による電極(導体グリッド)形成が研究されてきたが、現在では比較的少数の太陽電池メーカーのみが、めっき法を採用している。現在製造されている主要なタイプとして、5種類の太陽電池があるが、セルのタイプによって、めっき技術が必須か、または従来のスクリーン印刷も考慮しての選択肢の1つであるかが決まる。スクリーン印刷が本質的に持つ様々な制約のため、太陽電池のめっき法による電極形成が今後市場シェアを伸ばすと期待される⁴⁾。

(Received November 10, 2017)

文 献

- 1) C. Modanese, G. Gaspar, L. Arnberg, M. Di Sabatino ; *Anal Bioanal Chem.*, **406**, (29), 7455 (2014). [doi: 10.1007/s00216-014-8105-0]
- 2) A. Mondon, M. N. Jawaid, J. Bartsch, M. Glatthaar, S. W. Glunz ; *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **117**, 209, (2013). [doi: 10.1016/j.solmat.2013.06.005]
- 3) Bartsch et al ; *Photovoltaics International*, Volume 25, "Simple and reliable processes for creating fully plated nickel-copper contacts" (2014).
- 4) International Technology Roadmap for Photovoltaic, p. 28 (2017).