

接続信頼性に優れる 太陽電池用はんだめっき線の開発

遠藤裕寿^{*1} 辻隆之^{*2}
青山正義^{*3} 真崎義治^{**}

1. はじめに

太陽電池は環境への負荷が少なくかつ無尽蔵の太陽エネルギーを用いる発電方式のため、用途は住宅、公共施設などへも拡大し市場は年率30%以上の伸びとなっている⁽¹⁾。

一方発電コストに関しては大幅な低減が望まれており、モジュールの材料、部品、組立てに加え、取付け工事など低コスト化の検討が進んでいる。現在主流のSi結晶型太陽電池の場合、発電素子であるSiセルを薄型化し、原材料の使用量を低減する検討が進められている⁽²⁾。この太陽電池モジュールは発電された電気を集電する配線部品として、はんだ被覆されたCu平角線が用いられているが、Siセルとの熱膨張係数差が5倍以上にもなるため、はんだ接続時の熱応力によるセルの破損などの問題が顕在化している。更にこのはんだ接続部は、その不具合が太陽電池特性とともに製造コストにも直接影響するため、接続部自身の信頼性向上も合わせて開発が望まれるものとなった。今回、太陽電池の低コスト化に貢献する配線部材の信頼性向上技術を開発した。

はんだ接続時の熱応力対策としては、軟らかさ制御すなわち導体の降伏応力(0.2%耐力)低減を行い、また、接続信頼性向上のためには、はんだ表面の酸化膜抑制に着目した組成検討を行った。これらの開発内容と製品特徴について述べる。

2. 太陽電池モジュール配線概要と課題

太陽電池の配線は、図1に示すようにセル間を接続するは

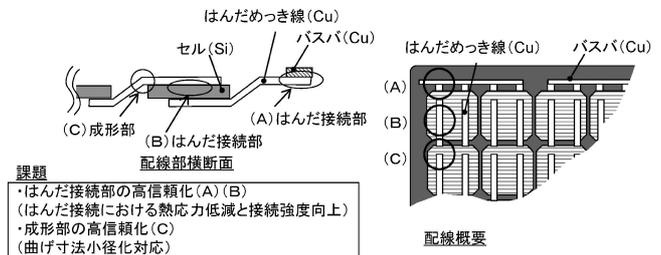


図1 太陽電池モジュール内配線と高信頼化への課題。

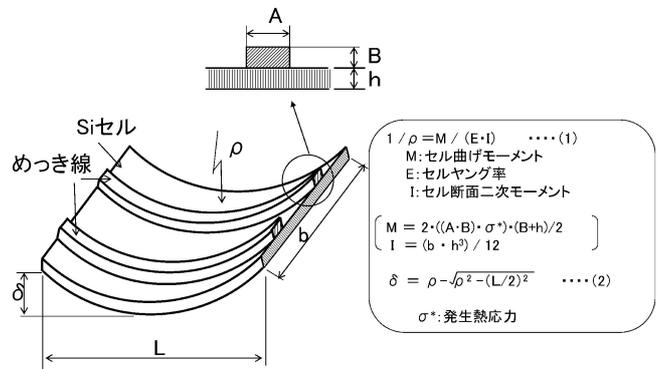


図2 熱応力によるセル反りの解析モデル。

んだめっき線と、それらを結合するバスバから構成される。配線材の課題は、はんだ接続時の熱応力によるセルの変形抑制と接続強度の向上、セル間曲げ成形部の高信頼化である。

図2に示されるはんだ接続時のセル反りは材料力学の基本式⁽³⁾と幾何学的な関係から式(2)で表される。ここでCu導体に発生する熱応力 σ^* は、Siとの熱膨張ひずみ差 ϵ^* で与えられ、図3に示すように弾性変形時は σ_A^* となる。しかし、一般にCuは変形の初期から降伏するため曲線状となり、 σ_B^* で示す低い応力となる。

このように材料が降伏することで熱応力も低減すると考えると、Cu導体の0.2%耐力の低減によってSiセルの反りも緩和できると予想される。0.2%耐力は熱処理条件選定によ

* 日立電線株式会社 技術本部技術研究所：

1)マネージャー 2)研究員 3)理事技師長

** 日立電線ファインテック株式会社：主管技師

Development of Solder-Coated Flat Wire with High Reliability for Photovoltaic Systems; Yuju Endo*, Takayuki Tsuji*, Seigi Aoyama*, Yoshiharu Masaki** (*Research and Development Laboratory Hitachi Cable, Ltd. **Hitachi Cable Fine Tech, Ltd.)

2010年10月20日受理

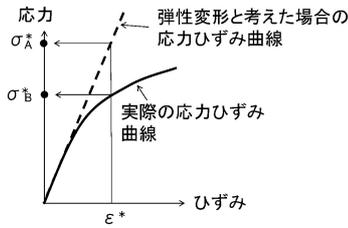


図3 応力ひずみ曲線モデル(Cu).

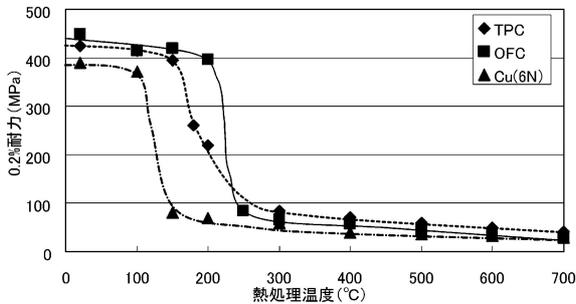


図4 熱処理温度と0.2%耐力の関係.

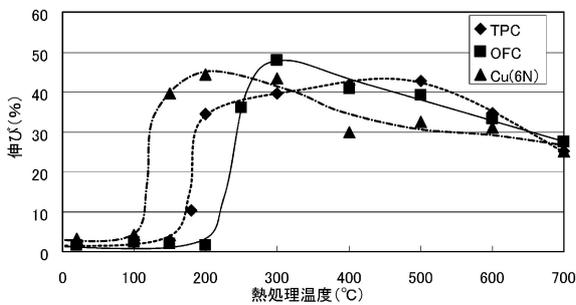


図5 熱処理温度と伸び量の関係.

って低減できるが、過度の熱処理は結晶粒粗大化による伸びや屈曲疲労寿命の低下⁽⁴⁾につながり、曲げ成形時の破断を引き起こす。そのため伸びを確保できる熱処理条件を見極めた。また、はんだ接続に関してははんだ表面の酸化膜が増大すると濡れ性を阻害するため、接続不良、強度不足を招くことになる。対策としてはSnよりも酸化し易い元素を微量添加し、Snを還元することが有効と考えられたので元素の選定を行った。

3. 純Cu系導体材料の熱処理条件と特性

太陽電池はその機能を考慮すると配線材に用いる導体の導電性は重要である。そのため、純Cu系材料の中でも不純物が少なくかつ導電率の高いTPC(タフピッチCu)、OFC(無酸素Cu)、Cu(6N)(99.9999%以上の高純度Cu)の3種類を選定し、熱処理条件と0.2%耐力および伸びの関係について合わせて検討した。φ2.6 mm径の線材を所定温度で1時間熱処理した後水冷し、引張り試験を実施した⁽⁵⁾。各材料の評価結果を図4、5に示す。

いずれの材料も熱処理前は400 MPa程度の0.2%耐力を有していたが、温度と共に低下し、300°C付近では100 MPa以下の水準まで下がっている。更に三者を比較すると、わず

かの差であるがCu(6N)が最も小さい値を示し、ついでOFC、TPCの順番となった。また、伸び量を比較するといずれの材料も300°C付近で40%程度以上の値となっているものの、500°C以上の高温領域では低下する傾向にあることがわかる。

軟化特性の面ではCu(6N)が最も優れているものの他材料との特性差は小さい。一方、Cu(6N)は経済性の面では不利であることから導体材料としてはOFCを選定し、温度条件も著しい伸び低下が発生しない領域に制御した。

4. 微量元素添加によるSn酸化膜の成長抑制

はんだ表面に形成されるSnの酸化膜は融点が高いことから濡れ性が悪く、はんだ接続時の信頼性を低下させる要因となる。これを防止するためSnより酸化しやすい元素を添加し、Snを還元する手法を検討した。酸化の傾向は酸化物標準生成自由エネルギー温度図⁽⁶⁾から知ることができ、P、Zn、Si、Ti、Al等の元素を候補とした。Znについては、Sn-Zn系ははんだが大気中のはんだ付けにおいて表面に安定な酸化膜が厚く形成され、一般にSn-Ag系やSn-Bi系はんだなどよりも濡れ性が劣る。この現象は酸化傾向の大きすぎる元素はそれ自身の酸化膜が厚く成長し、逆に濡れ性が悪くなるためと考えられる。以上より本研究では過度に酸化が進まず飛散しやすいPを極微量添加元素として選定し添加量を適正化した。

実際のはんだ接続時を模擬し、加熱による酸化の抑制効果を検証する評価実験を試みた。まずCu平角線に汎用のPbフリーはんだSn-3.0 mass%Ag-0.5 mass%CuおよびそれにPを添加したSn-3.0 mass%Ag-0.5 mass%Cu-0.01 mass%Pを溶融被覆したものを作製し、次に各温度に設定したホットプレート上で大気中60秒加熱後はんだ表面の酸化状態を評価した。図6に250°Cで60秒加熱した試料のAES(Auger Electron Spectroscopy)深さ方向分析結果の例および温度と表面酸化膜厚さの関係⁽⁷⁾を示す。図からP添加したものは酸化膜が薄く抑制できることが確認された。

次にP添加のはんだ溶融温度への影響を調査した。図7は上記2種類のはんだのDSC(Differential Scanning Calorimetry)分析結果⁽⁷⁾を示したものである。両者ともはんだ溶融時の吸熱開始温度は217°C程度であり、またピーク温度にも著しい差はなかった。これらのことから微量Pを添加しても固相線、液相線は大きく変化せず、よって開発品は汎用品と同様な作業が可能であることが示された。

5. 開発はんだおよびめっき平角線の特性

開発はんだの接合強度を評価した結果⁽⁷⁾を図8に示す。幅5.0 mmのはんだめっき線に幅2.0 mmのめっき線を溶融はんだ接続したものを使用し、90°ピール試験によって剥離強度を評価した。はんだはPb入り共晶はんだの他に、Sn-3.0 mass%Ag-0.5 mass%Cu、およびそれにBiを添加したものとして5種類準備した。いずれのはんだもPを0.01 mass%程度添加することによってピール強度が10~20%程度向上

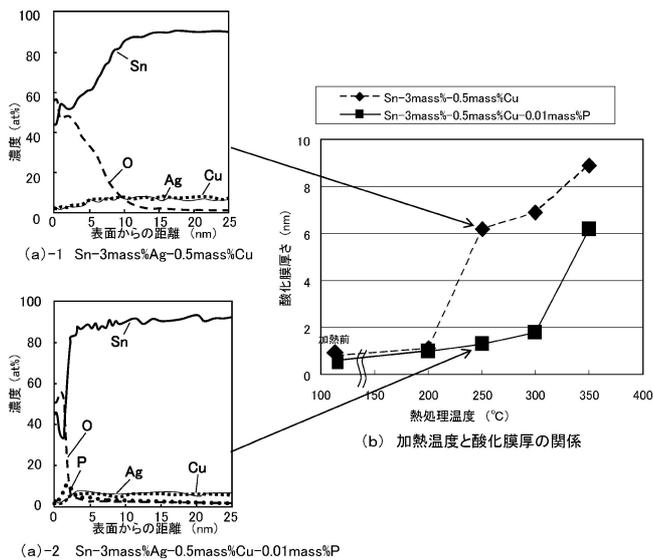


図6 はんだ加熱の酸化膜への影響.

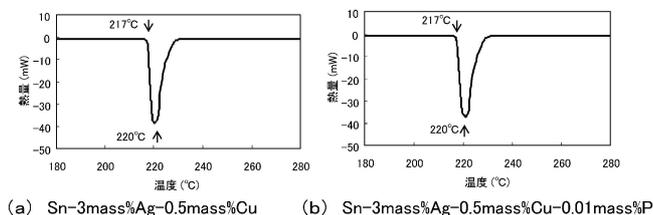


図7 P添加のはんだ溶融温度への影響.

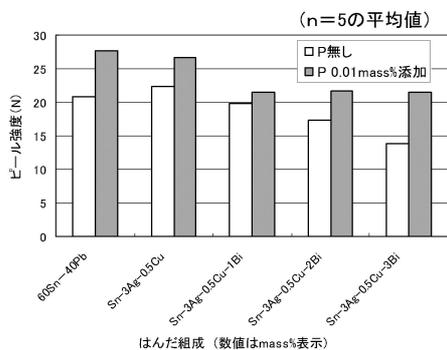


図8 P添加によるはんだ接合強度向上効果.

しており、これによってP添加の強度向上効果が検証できた。

次に、熱処理によって0.2%耐力を低減したCu導体へ、Sn-3.0 mass%Ag-0.5 mass%Cu-0.01 mass%Pの開発Pbフリーはんだをめっきした平角線を作製し、機械特性を評価した⁽⁵⁾。図9に結果を示す。熱処理条件の適正化でOFCを用いた開発品はTPCを用いた従来品よりも0.2%耐力を低く制御できており、懸念された伸び量も従来品と同等となった。更に曲げ屈曲試験として平角線板厚比1.25倍の極めて小さい曲げRの試験を実施したが寿命の低下は認められなかった。

開発品の熱応力低減効果の評価には熱膨張係数、ヤング率がSiと同等のFe-42 mass%Ni条を用い、はんだ接続時の条の反り量を測定した⁽⁵⁾。開発品の反りは従来品の70%程度まで緩和しており、これによってCu導体の0.2%耐力低

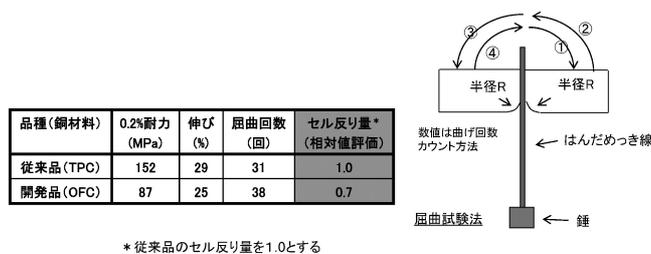


図9 はんだめっき線の特徴.

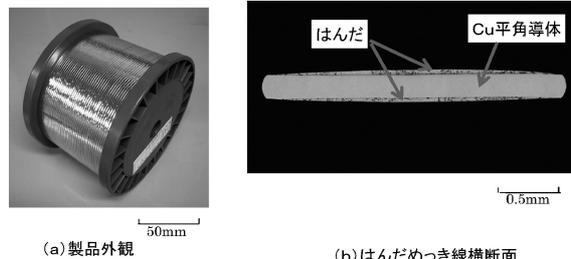


図10 はんだめっき線外観.

減の効果を検証することができた。以上より本開発品は太陽電池への接続信頼性を向上させたものといえる。

6. 特許および実用化の状況

本開発製品の外観、断面を図10に示す。関連特許は国内20件をはじめ海外複数国へ出願し、線材の製造方法、はんだについて国際特許⁽⁸⁾⁽⁹⁾を取得している。また本製品は開発がすでに完了⁽⁵⁾⁽⁷⁾実用化しており、その信頼性、品質の高さから多数の太陽電池メーカーへ採用され、国内ではトップシェアにある。

7. まとめ

本報告では、太陽電池の接続信頼性を向上させる配線材の開発内容について紹介した。太陽電池は再生可能エネルギーの一つとして注目されており、それを構成する本製品は重要な部品の一つである。将来にわたっても需要の拡大が期待されていることから、本開発製品と技術は地球温暖化防止など環境保護へ大きな貢献をできるものとする。

文 献

- (1) 日経エレクトロニクス, **921**(2006), 103.
- (2) 日経エレクトロニクス, **925**(2006), 38.
- (3) 村上敬宜: 材料力学, 森北出版, (2003).
- (4) 青山正義, 浦尾亮一: 日本金属学会誌, **74**(2010), 49-54.
- (5) 遠藤裕寿, 辻 隆之, 阿久津裕幸, 木村孝光, 沢島勝憲, 坂東 宙: 日立電線, **26**(2007), 15-18.
- (6) 鉄鋼便覧: 第I巻 基礎, 日本鉄鋼協会, (2004).
- (7) 辻 隆之, 蛭田浩義, 真崎義治, 青山正義: 日立電線, **26**(2007), 19-22.
- (8) CN100559609C.
- (9) US7148426B2.