

太陽電池用シリコンウェハ加工システムの開発

Development of Silicon Wafer Manufacturing System for Solar Cells

高橋 正行*
Masayuki Takahashi

渡邊 衛*
Mamoru Watanabe

筆者らは新たな太陽電池用シリコンウェハの自動化ラインを開発した。技術のポイントは、(1) 短時間接着プロセス、(2) スチームによる枚葉剥離、(3) 水のみウェハ洗浄システムの3点である。それらの結果、ラインタクト1.4秒/枚が実現し、加えてウェハ生産時の歩留まりを改善できた。

The authors have developed an automated line for Silicon wafers for solar cells. The main features of the technologies for the automated line are as follows: (1) short bonding process, (2) demounting by steam, and (3) wafer cleaning system that uses only water. The results of our development were a line takt of 1.4 s/wafer, and improved yield during wafer production.

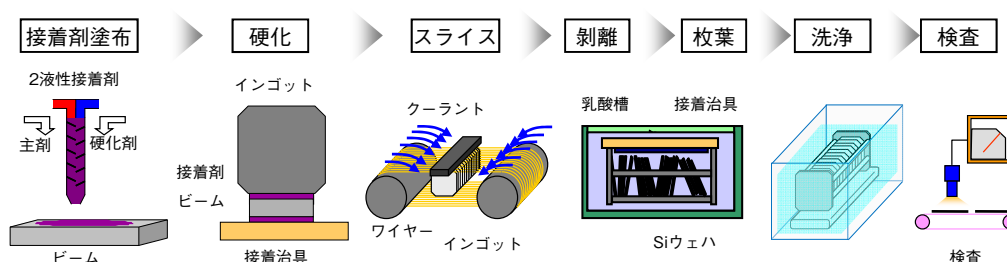
1. 生産システムの開発ポイント

太陽電池用シリコン（以下、Si）ウェハは、半導体用のSiウェハと比較して面あらしや反りの点で高精度ではないが、厚みが1/5以下（140 μm～200 μm）と薄く割れやすいゆえに、ウェハを高効率に生産する難しさに特徴がある。

開発当初、市販の太陽電池用ウェハ生産システムでは、工程間に人手による作業があり、生産性、歩留まりを低下させる要因となっていたが、そのままでは自動化することも困難に思われた。加えて後工程となるセル工程で生じるトラブル分析から、ウェハ工程で使用した薬液の影響があることもわかった。そこで筆者らは歩留まり向上を目指し、自動化を前提とした新たな材料・プロセスの開発をした。そのポイントとなる(1) 短時間接着プロセス、(2) スチームによるウェハ枚葉剥離、(3) 薬液を使用しないウェハの水洗浄システムについて、従来法の問題点を鑑みて、説明する。

2. 従来の生産方式の問題点

第1図に従来の一般的なウェハ生産システムを示す[1]。



第1図 従来のウェハ生産システム

Fig. 1 Conventional wafer manufacturing system

初めに角柱化されたSiインゴット（□:125 mm, L:400 mm）と、ビームと呼ばれる捨て板を2液性エポキシ接着剤で固定する。この工程で接着剤の固化に8時間を要する。その後ワイヤーソーで所定のウェハ厚み（例えば150 μm）にスライスし、乳酸槽内でビームとスライスされたウェハを剥離する。同図中に示すように、この剥離時のウェハの姿勢がトランプを立てるがごとく左右に傾くので、このままでは最も自動化が困難な工程であり、人手でウェハを取り扱うにしてもウェハに割れ・欠けが生じやすい。その後ウェハを1枚ずつ枚葉化して、ウェハ洗浄する。この洗浄工程では、ワイヤーソー工程で生じるSiスラッジ（泥状になった切りくず）はもとより、加工液として使用するグリコール系クーラント、剥離工程で使用する乳酸などの薬液をウェハ表面から除去する目的で、各種薬液洗浄剤を使用することが一般的である。本工程でのウェハ1枚のラインタクトは、1.5秒～2秒である。

従来のプロセス上の課題としては、インゴット接着工程の時間短縮、ウェハ剥離時のウェハ姿勢制御、洗浄工程を含めた各種薬液の使用目的を踏まえたうえでシステムを再構築することである。それらを解決することで、一連の自動化が可能であると考えた。

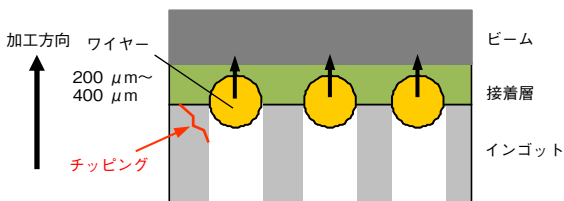
* パナソニック プロダクションエンジニアリング（株）
Panasonic Production Engineering Co., Ltd.

3. 熱硬化型接着剤によるインゴット接着

従来、インゴットとビームの接着にはコストとスライス後の剥離の容易さの点から2液性エポキシ接着剤が使用されていた。しかしながら2液性エポキシ接着剤は、ミキシングした直後から架橋開始するので粘性が急激に上昇し、接着層厚みが $200\ \mu\text{m}$ ~ $400\ \mu\text{m}$ となる。この接着層の厚みは、ワイヤーソー工程において、ウェハのチップングの原因になることが以下のことよりわかった。

第2図を用いて接着層が厚い場合にチップングが生じるメカニズムについて説明する。同図はスライスの最終段階の様子を示し、ワイヤーがSiインゴットから、接着層、ビーム側に至る直前の模式図である。このとき硬脆（こうぜい）材料であるSiとビーム材の間にヤング率のオーダーが2桁以上低い接着層が厚く存在すると、ワイヤー通過時にSi側に引っ張りの応力場が生じ、チップングの原因になっていると推定している。これらのことを検証するために接着層の厚みを $50\ \mu\text{m}$ ~ $400\ \mu\text{m}$ まで変えた試験片を用いて加工実験した結果、接着層厚みが $100\ \mu\text{m}$ 以下ならば、顕著にチップングの減少が確認できた。

そこで新たに熱硬化型の1液性エポキシ接着剤を開発した。硬化前の粘性が非常に低いので、接着層厚みを容易に $100\ \mu\text{m}$ 以下にできる。その後ビームのみを所定の温度に加熱することで、接着剤の架橋を促進させて硬化する。それらの所要時間は20分であり、従来に比べ非常に早く、プロセスの自動化にも適している。



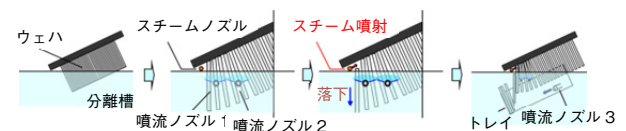
第2図 チップングのメカニズム

Fig. 2 Mechanism of chipping

4. 自動化を可能としたウェハ枚葉剥離

第3図に開発したウェハ枚葉剥離装置のプロセス模式図を示す。従来の剥離工程は、乳酸槽内でウェハが一度に剥離するため制御されているとは言いがたかったが、開発した剥離工程はウェハを先頭側より順次剥離可能となっている。第3図に示すように、ビームを斜めに傾斜した状態でウェハとビームの接着面が水面より上に位置するように保持する。その後先頭側のウェハの側面より水

中に設けたノズルから噴流を吹きつけると、先頭側のウェハが扇型に1枚ずつ分かれた状態となる。このときウェハ正面側より接着部に向けて $100\ ^\circ\text{C}$ 以上のスチームを吹きつけると接着層がガラス転移点温度以上に加熱され、接着強度が低下することでウェハを最前列より順次トレイに落下、整列させることが可能となる。このときウェハは水中にあるので落下動作は緩慢になり、ウェハが剥離しトレイに着地した衝撃でウェハチップングが生じることもない。このため開発した枚葉剥離方式は、スライスしたインゴットの先頭側から1枚ずつ剥離し、トレイに整列することが可能となり、自動化するうえで好都合である。加えて従来のような乳酸を使うことなく、水（スチーム）だけで処理可能である。



1) インゴット設置 2) 噴流開始 3) スチーム噴射 4) ウェハ整列

第3図 ウェハ剥離工程

Fig. 3 Wafer demount process

5. ウェハ水洗浄システムの実現

ウェハ洗浄の目的は、スライス工程で生じるSiスラッジと、工程内で使用した薬液などによる汚染を、ウェハ表面から除去することにある。ウェハ剥離工程で使用していた乳酸は、先述したようにスチームに置き換えることができたので、次に従来のスライス工程で使用されていたクーラントについても以下の取り組みをした。

ワイヤーソー工程で 사용되는クーラントは、一般的に保湿性の点で優れたグリコール系クーラントが使用されていた。しかしながら比熱を比較するとグリコール系クーラントの場合 $2.7\ \text{J/gK}$ であるのに対して、水希釈（2%）クーラントの場合、ほとんど水の性質が支配的となり $4.2\ \text{J/gK}$ である。砥粒（とりゅう）のダイヤモンドは、作用点での反応熱により摩耗するので[2]、冷却能力の高い方がクーラントとして望ましい。2種のクーラントの比較実験をした結果、Siインゴットの温度上昇は水希釈クーラントを使用した方が $20\ ^\circ\text{C}$ 程度低い結果となり、熱を奪う点で優れることがわかった。そこで保湿性や洗浄性を向上させるための界面活性剤を含んだ水希釈タイプのクーラントを開発した。加えて全体プロセスを自動化すれば、工程間の移動時間を最適化できるので、移動中にウェハ表面が乾燥し表面の汚れが除去できなくなるトラブルも回避できると考えた。

開発した水希釈クーラントを使って加工したウェハの洗浄実験をした結果、ウェハ表面の汚染物とSiスラッジについても市水で洗浄できることがわかった（最終の洗浄槽は純水を使用）。全プロセスにおいて酸、アルカリを使用しなくなったことで、一連の加工装置に薬液の回収浄化・循環システムが不必要になり、環境への負荷を低減した独自のウェハ水洗浄システムが構築できた。

6. ウェハ一貫ラインの成果と今後

従来の太陽電池用Siウェハの製造プロセスをひも解いて、高い歩留まりを目標とするために全自動化することを目指し開発した。その結果薬液を使用しない独自性の高いプロセスとなり、ウェハのラインタクト1.4秒を実現した自動化システムを構築することができた。品質面においても従来の平均歩留まりを2%以上改善できた。

今後、さらなる工程の合理化を進め、設備の低価格化、技能の不要なターンキーシステムを目指す。

参考文献

- [1] 2013年度版 太陽電池関連技術・市場の現状と将来展望, (株)富士経済, 東京, 2013.
- [2] 井川直哉, “オプトメカトロニクス時代の超精密切削技術 2. 超精密切削の技術要因,” 光技術コンタクト, vol.25, no.6, pp.323-333, 1987.