

多結晶太陽電池ウェハの欠陥検査方法の開発

平岡忠志^{*1}, 柏木利幸^{*2}, 友川裕史^{*3}, 三島庸歳^{*4}, 寺田賢治^{*5}

抄 録

太陽電池用多結晶シリコンウェハのクラックと汚れの検査方法を開発した。検査対象のウェハは多結晶であるため、結晶粒界と欠陥の判別が難しい。クラックの検査では、赤外線光源の位置と角度を調整することで画像上のクラックを残したまま結晶粒界を目立たなくし、ウェハの内部のクラックと周辺部のクラックにそれぞれ対応した検出処理方法を開発した。このクラック検査方法により画像 800 枚に対して検出率 92.8%、誤検出率 6.0%を達成した。汚れの検査では、遊離砥粒方式と固定砥粒方式でスライスされた 2 種類のウェハに対応した RGB ドーム照明方法を開発し、RGB の微分処理と 2 値化処理手法により検出した結果、ほとんどの結晶粒界と汚れの判別が可能となった。

1 はじめに

太陽電池用シリコンウェハは、インゴットと呼ばれるシリコンの結晶の塊より、ワイヤーソーにより薄く切り出されて製造されるため、ウェハの製造過程で、外観上判断不能な超微細な亀裂（マイクロクラック）が発生する可能性がある。このクラックは、後工程で大きくなり発電不良、破損につながり太陽電池の品質に重大な影響を及ぼす。また、ウェハ切り出し後の洗浄が不十分であると、表面に油汚れが残り、この表面の汚れは、後工程（エッチング工程）に影響を与え発電不良につながる。

多結晶シリコンは、小さな結晶の集まりからなり、結晶面方位により結晶粒のコントラストが変わるため、表面の汚れや太陽電池内部のクラックが、結晶粒界と区別し難く、検出が極めて困難であり現状では有効な検査装置は開発されていない。ウェハ製造メーカーでは 24 時間体制で、人海戦術により全数を検査している。

そこで本研究では、多結晶シリコンウェハのクラックと汚れの検査方法を開発した。

2 クラックの検査方法

赤外線光源と赤外線ラインセンサカメラを用いて、人工的に作成したクラックを持つウェハを撮影した画像を図 1 と図 2 に示す。両図とも左が人工クラック

作成前、右が作成後である。図 1 はウェハ内部にクラックが存在する例で、図 2 はウェハのエッジ部分にクラックが存在する例である。ウェハ内部のクラックは上下に明暗のペアが写ることが特徴である。図 1 のクラックの長さは画像上では $900\mu\text{m}$ 程度である。周辺部のクラックは正常部よりも明るく写ることが特徴である。図 2 のクラックの長さは画像上では $300\mu\text{m}$ 程度である。

図 1 において、結晶粒界とクラックのコントラストを比較すると、クラックの方がコントラストが高いことがわかる。ここで、クラックは円の中心にあり、結晶粒界はクラックの周りにある。ただし、結晶粒界はコントラストが悪く、ほとんど確認することができない。図 1 と図 2 の画像は、赤外線光源の位置と角度を調整することで得られたものである。

以上の特徴を生かして、撮影された画像を基に、ウェハを内部と周辺部に領域分割し、内部にはフィルタの畳み込み処理、周辺部には各辺の方向に沿った微分処理をすることでクラックを検出した。クラックを人工的に作成したウェハを利用し、クラックあり画像 400 枚、クラックなし画像 400 枚、合計 800 枚を用意した。このサンプル画像に対して、上記の検出処理を適用したところ、検出率 92.8%、誤検出率 6.0%を達成した。未検出の例として、特定の領域の微弱なクラックが検出できていないことが挙げられる。一方、誤検出の例として、ウェハ周辺部の特定領域の濃度変化に反応していることが挙げられる。これらは、今後、ウェハの領域毎に閾値を設定することで対応する予定である。

*1 機械技術担当, *2 徳島県新産業戦略課

*3 徳島電制 (株), *4 東西電工 (株)

*5 徳島大学

3 汚れの検査方法

ウェハには多結晶シリコンインゴットから遊離砥粒方式でスライスされたウェハ（以下、遊離ウェハ）と固定砥粒方式でスライスされたウェハ（以下、固定ウェハ）がある。汚れの検査では加工方法による影響が大きいため、この両者に対応した RGB ドーム照明を用いた。これは RGB の LED をそれぞれ異なる場所に配置し、反射板を利用することで RGB の照明を異なる角度から照射することができる照明装置である。RGB ドーム照明を利用すると、遊離ウェハの場合、正常部はある色が明るく、他の色が暗く撮影され、汚れは全ての色が暗く撮影される。また、固定ウェハの場合、正常部は全ての色が明るく撮影され、汚れは全ての色が暗く撮影される。

以上の特徴を利用して、遊離ウェハの場合は RGB の微分処理を利用して汚れを検出した。これは各画素について、RGB それぞれで微分処理を行い、RGB の微分の符号が異なる場合は微分値を 0 とし、全て同一の場合はその微分値を利用するものである。RGB の微分の符号が異なる場合は結晶粒界、全て同一の場合は汚れと正常部の境界にあたる。この画像処理により、ほとんどの結晶粒界と汚れと正常部の境界の判別ができた。また、固定ウェハの場合は 2 値化処理を利用して汚れを検出した。検出した結果を図 3 と図 4 に示す。両図とも左は撮影画像、右は検出結果画像である。

4 まとめ

太陽電池用多結晶シリコンウェハのクラックと汚れの検査方法を開発した。

クラックの検査では、赤外線光源の位置と角度を調整することで画像上のクラックを残したまま結晶粒界を目立たなくした。また、ウェハ内部と周辺のコラックに対応するために検出処理を 2 つに分けた。このクラック検査方法により画像 800 枚に対して検出率 92.8%、誤検出率 6.0%を達成した。

汚れの検査では、RGB ドーム照明を利用し、遊離砥粒方式と固定砥粒方式でスライスされた 2 つのウェハに対応した照明方法を開発した。RGB の微分処

理と 2 値化処理を利用することでほとんどの結晶粒界と汚れと正常部の境界の判別ができた。

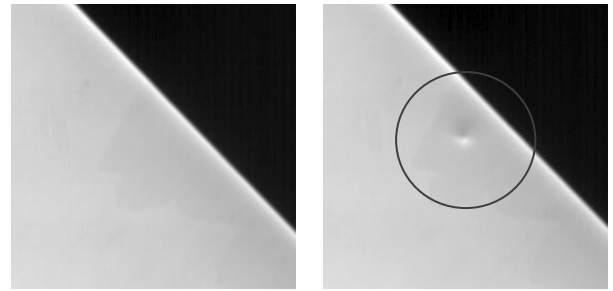


図 1 ウェハ内部のクラック

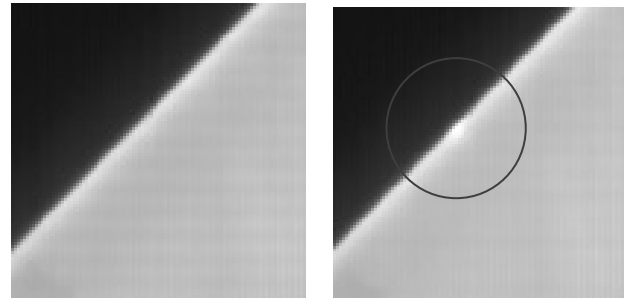


図 2 ウェハと背景の境界付近のクラック

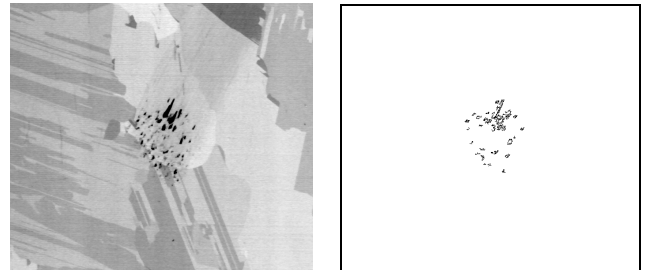


図 3 遊離ウェハの汚れ検出結果

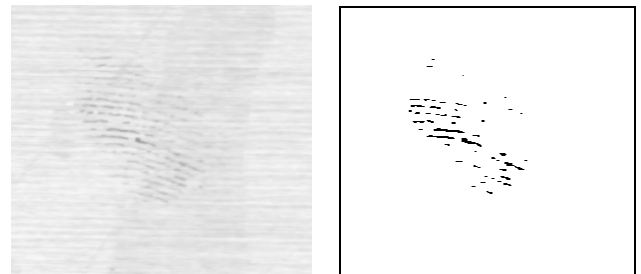


図 4 固定ウェハの汚れ検出結果

*本研究は、平成 22 から 24 年度経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業により実施しました。