

チョコラルスキー法の単結晶 Si 引き上げ中のボディ部における晶癖線検出法の研究

1220325 久保田 雄斗 【 画像情報工学研究室 】

1 はじめに

単結晶シリコンは、様々な電子機器に必要な集積回路や太陽電池製品などに用いられる半導体の材料である。チョコラルスキー (CZ) 法はその製造法の中で大量生産が可能のために最も一般的に用いられている [1]。しかし、製造中にシリコンが多結晶化してしまうことがある。

シリコンが単結晶であるとき、晶癖線という出っ張りが90度毎に現れ、多結晶化していない指標となる。本研究では、製品として使用される結晶中で最も太いボディ部と呼ばれる部分における晶癖線検出法を検討する。

2 関連知識

2.1 曲率

パラメタ t を用いて、ある曲線の座標を $(x(t), y(t))$ と表せられるとき、その接線と曲線上で微小変化させた座標における接線の2つと等しい接線を持つ円の半径の逆数が曲率となる。曲率を表す式は式 (1) で表される。

$$\frac{1}{R} = \frac{|\frac{d}{dt}x(t)\frac{d^2}{dt^2}y(t) - \frac{d}{dt}y(t)\frac{d^2}{dt^2}x(t)|}{(\frac{d}{dt}x(t)^2 + \frac{d}{dt}y(t)^2)^{3/2}} \quad (1)$$

2.2 LOcally-WEighted Scatter plot Smoother (LOWESS)

LOWESS とは、局所的に重み付き線形回帰によって散布図を平滑化する手法である。また、LOWESS はノンパラメトリック回帰で、モデルの形状推定は不要である。

LOWESS はある x 座標において全体の点群から、あらかじめ定めたパラメタ a ($0 < a < 1$) の割合の近傍の点群を用いて重み付き線形回帰によって直線を計算し、対応する位置の y 座標を算出することで各座標の計算を行う。重みには距離 x を用いたトリキューブ関数 $W(x) = (1 - |x|^3)^3$ を用いる。

3 晶癖線検出手法

最も新しい晶癖線は融液と結晶の境目のメニスカス領域で見られる。図1はメニスカス領域が写る部分をトリミングした画像である。図1に対し、大津の手法による5値化で得られた最大の閾値で2値化を行い、オープニングクローズングを1回ず

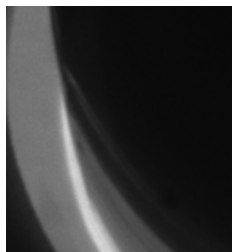


図1: trimming 画像

つ行ってメニスカス領域全体を抽出する。得られた領域のエッジを抽出し、LOWESS で平滑化した後に曲率を計算し、その最大値を1つ前の画像の曲率の最大値で割った値が閾値を超えれば晶癖線があると判別する。

4 実験結果

入力画像に対して、晶癖線の有無を目視による判断と提案手法と比較した。曲率計算後の閾値が1.5の場合の画像50枚毎の真陽性率、真陰性率、適合率を図2に順に青線、橙線、緑線で示す。図2から、晶癖線が断線する前の真陽性率は平均7割程度で、真陰性率、適合率は平均9割以上である。そのため、晶癖線が途切れる前は誤検出数が少なく、全体の3割程度の晶癖線が未検出であることが分かる。また、目視と提案手法の実際の検出数の割合を図3に示す。

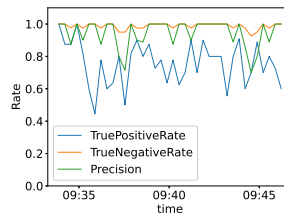
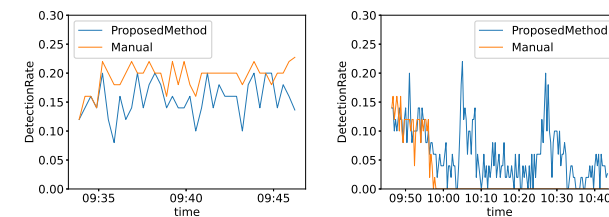


図2: 断線前の検出率



(a) 断線前 (b) 断線後
図3: 断線前後の検出数の割合

シリコンは製造中は回転しており、時間と共に晶癖線の位置も変わる。従って、晶癖線は一部の画像に写る。図3(a)の目視の結果より、全体の20%程度に晶癖線が写ることが分かる。提案手法では全体の15%程度を晶癖線として検出できる。また、図3(b)から、晶癖線の断線後、全体の15%以上を誤検出する時期もあるものの、全体的に検出数は5%以下に低下しているため、検出数が5%を切る時間が一定時間続けば断線と判断できる可能性がある。

5 まとめ

本研究では、CZ法を用いた単結晶シリコン引き上げ中のボディ部における晶癖線を画像から取得する手法について検討した。提案手法では、検出数の割合が断線前後で10%程度異なり、断線を判断できる指標となる可能性がある。一方で、真陽性率は7割程度であり、誤検出によって断線か判断できない時期があることも分かった。よって未検出や誤検出を防ぐ改善を行う必要がある。

参考文献

[1] R. Fornari, "Single Crystals of Electronic Materials: Growth and Properties", Woodhead Publishing, 2018.