

単結晶シリコン製造装置における晶癖線の検出

1190302 上田 史織 【画像情報工学研究室】

1 はじめに

現在、製造業においては製造工程の一部を自動化し、人の負担を軽減している。外観検査の自動化もその一つである [1]。一方で、まだ製造工程によっては自動化されていないことも多い。

現在の電子回路技術を支える単結晶シリコンは、原材料を融解して種結晶を使用し、回転させつつ単結晶を引き上げることにより製造している。

シリコン単結晶は多結晶とは異なり、結晶格子が規則正しく並んでいなければならない。結晶格子が規則正しく並んでいる場合、単結晶の外部に晶癖線が現れる。不規則に並ぶと晶癖線は消滅する。このため、晶癖線により内部の結晶格子の状態を推定することが可能であり、単結晶シリコン製造における重要な指標となる。

本研究では、晶癖線の有無を自動で判定可能にするために必要となる晶癖線の検出方法について実装を行った。

2 提案手法

本システムでは、単結晶シリコン製造過程の動画像より晶癖線と思われる場所を探し、その場所が一定フレーム数動画像内に現れているのであれば晶癖線とみなす。処理の流れは図 1 に示したとおりである。

また、図 2 はラベリング処理を行う前の出力結果である。中心付近に出現しているものが晶癖線であり、左右には単結晶の両端が現れている。処理の流れは、両端の単結晶以外の検出結果に応じて変化する。

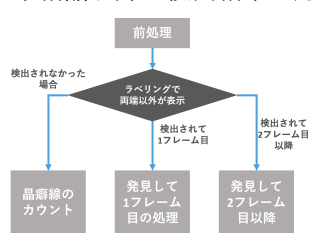


図 1 処理の流れ

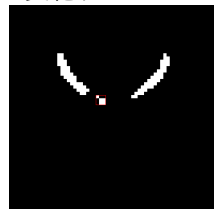


図 2 DoG 画像を二値化した結果

2.1 処理の分岐を行うための前処理

晶癖線の判定を行うために、DoG 画像を作成して二値化する。その後ラベリングを行う。DoG 画像作成のために使用したガウシアンフィルタは、縦軸の σ を σ_y 、横軸の σ を σ_x と表した。 σ_x と σ_y を用いたガウシアンフィルタは式 (1) で表される。予備実験により、 $\sigma_x = 1.125$ 、 $\sigma_y = 0.025$ と $\sigma_x = 2.25$ 、 $\sigma_y = 0.05$ の差を用いることにした。

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (1)$$

2.2 検出されて 1 フレーム目の場合

ラベリングにより検出された画素の集合が左の単結晶より右側にあり、かつ下にあるならばその箇所を晶癖線の位置と仮定する。

2.3 検出されて 2 フレーム目以降の場合

ラベリングにより検出された画素の集合と 1 フレーム前に晶癖線と仮定して検出された画素の集合との位置関係を調べる。

まず、元の動画像を二値化し、最小二乗法を使用して近似する二次曲線を探す。検出された画素の集合の位置と近似する二次曲線の距離が最小となる二次曲線上の画素の位置を探す。

そして、新たに見つけた画素の位置より右にあり、かつ二次曲線上にある前フレームの画素の位置とラベリングにより検出された画素の位置との距離を測り、二次曲線上で距離が最小となる画素の集合の元位置を現フレームでの晶癖線の位置と仮定する。

2.4 晶癖線が見つからなかった場合

1 フレーム前に晶癖線として仮定した場所が存在しており、かつ晶癖線が表示されていたフレーム数が閾値より高ければ晶癖線とみなし、晶癖線として数える。

3 実験結果・評価

提案手法を用いて晶癖線を正しく検出することが可能か検証した。全動画像のうち、2分を切り出して目視により晶癖線を 10 回数えたところ、晶癖線の平均出現回数は 57.5 回で標準偏差は 1.5 回であった。この結果より、目視であっても検出回数にばらつきがあり、晶癖線を確認することは容易ではないと言える。実験では、同じ動画に対して提案手法を適用し、検出回数をカウントして目視による検出回数と比較した。

提案手法を動画像に使用し、表 1 の結果が得られた。検出が出来なかった画素の集合は、DoG 画像を二値化したときに晶癖線が出力に反映されていなかった。そのため、前処理の段階で消えても移動速度よりおおよその位置推定処理を行う必要がある。

表 1 晶癖線の出現回数と割合

平均出現回数	検出された回数	割合
57.5 回	49 回	約 85.2%

4 まとめ

本研究では、晶癖線を見つけるために晶癖線と思われる場所を探し、その場所が時空間的に連続して現れているのであれば晶癖線とみなした。この手法により、2 分間の平均出現回数 57.5 回のうち、49 回が検出された。また、検出されなかった晶癖線は、前処理の段階で出力結果に反映されなかった。そのため、移動速度によるおおよその位置推定を行う必要がある。

参考文献

- [1] 秦 清治, " 外観検査の自動化の現状と展望", 精密工学会誌 56 巻 8 号, p.1366-1370, 1999.