

SEM 画像におけるエッジ位置検出手法 Edge position detection in SEM images

永森 彰† 鈴木 融† 山藤 泉† 菅野 明郎† 伊藤 稔†
Akira Nagamori Yu Suzuki Izumi Santo Akio Sugano Minoru Ito

1. はじめに

近年、LSIは高い集積度が要求され、構成する素子や配線など益々微小化されている。この微細なLSI回路パターンを測長するため走査型電子顕微鏡(SEM)が広く用いられている。SEMによって撮影された画像におけるエッジ検出方法にはエッジの定義により次の代表的な4つが存在する。2次電子信号のピークをエッジとしたpeak to peak法、最大最小信号に対する一定の閾値によりレベルスライスを行う閾値法、スロープ中の最大傾斜角を与える点をエッジとして定義した最大勾配法、最大値の80%と20%を通る直線を引きこれとベースラインとの交点をエッジと定めた直線回帰法がある¹⁾⁴⁾。

SEM画像におけるエッジの定義はこのように種々存在するが、本研究ではレベルスライスによりエッジ位置を動的に変えられる閾値法を用いることにした。しかし、SEM画像に含まれる雑音は極めて多く、閾値法ではその影響を受けてエッジ位置を誤検出してしまう可能性が極めて高い。そこで、本稿ではエッジ検出範囲内の信号に関数近似を行った後に閾値法を用いるエッジ位置検出法(ERA法)を提案する。

2. 検出手法

上記に述べたようにSEM画像には比較的高い信号を有する雑音が多く含まれており、従来の閾値法をそのまま用いてもエッジ位置を誤検出してしまう可能性が高い。雑音を除去するためには空間フィルタが有効であるがサイズが大きい空間フィルタを用いるとSEM画像の持つ解像度が失われてしまい、エッジ位置が真値から移動してしまうことが心配される。そこで本研究ではSEM画像を読み込んだ後に小さいサイズの空間フィルタを施してから、関数近似を行った。この関数近似を行うことにより雑音の影響を小さくして、エッジ断面を作成しエッジ位置を決定した。関数近似には3次関数を用いた。以下に説明するエッジ位置検出アルゴリズムをERA法と呼ぶことにする。

SEM画像のx座標における信号 t にフィルタをかけ、その信号 t に対する近似関数の近似値を $f_x(t)$ とする。

次にこの近似値を利用してエッジを検出する。このときの検出手順を図1を参照しながら説明する。

- ①はじめにエッジ検出範囲をエッジ幅限界に設定する(X座標を記憶)
- ②①の範囲の波形から最大値、最小値を見つける(X座標、Y座標を記憶)
- ③①の範囲(X座標)の波形に対して関数近似を行う
- ④②の範囲(Y座標)の最小値を0、最大値を1として閾値レベルを決定する

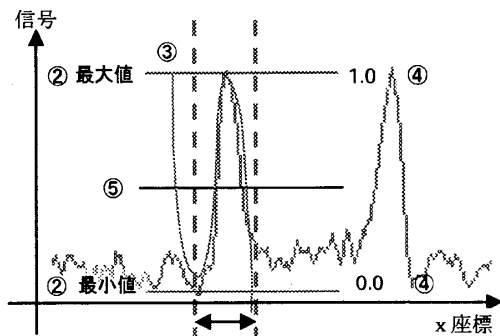


図1 検出手法

- ⑤近似関数 $f_x(t)$ と閾値との交点をエッジとし、そのときのx座標をエッジ検出位置とする。

3. 実験と結果

LSI配線のSEM画像に対してERA法を使用してエッジ位置の検出を行った。

以下に実験に用いたSEM画像と計測条件を示す。

1)SEM画像

- 測定倍率: 75000x (FOV 2 μ m)
- 積算枚数: 64枚
- 解像度: 512 \times 512

ステージを任意移動した後にその位置合わせをし画像入力するという操作を繰り返し、計10枚のSEM画像を得た。

2)計測条件

- 閾値: 0.5
- 空間フィルタ: 5 \times 7(重み付けなし)
- エッジ検出範囲x座標: 15pixel(214~228pixel)
- エッジ検出範囲y座標: 200pixel(150~349pixel)

図2(a)にSEM画像例を示す。白い矩形はy座標200~300pixelとx座標200~230pixelの位置を示している。この白い矩形を抜き出し拡大したものを(b)に示す。但しERA法により検出したエッジ位置を重ね表示している。検出したエッジ位置は真のエッジラインに沿うように検出できていることがわかる。図3に関数近似した典型例を示す。横軸がx座標、縦軸が信号値を示している。

表1に10枚の画像各々についてエッジ検出位置(x座標)の平均値と標準偏差を示す。また、エッジラインに沿って検出した結果を図4に示した。図4において画像間でエッジ検出位置のずれが生じている。このずれはビームドリフトやステージ位置の再現誤差に起因するものである。そこで、表1の画像番号1の平均値を基準とし画像番号2~10の平均値と差分をとり、それぞれのエッジ検出位置に対し差分値を加え補正した結果を図5に示す。補正した画像間で良く一致していることがわかる。

†工学院大学 ‡株式会社ホロン

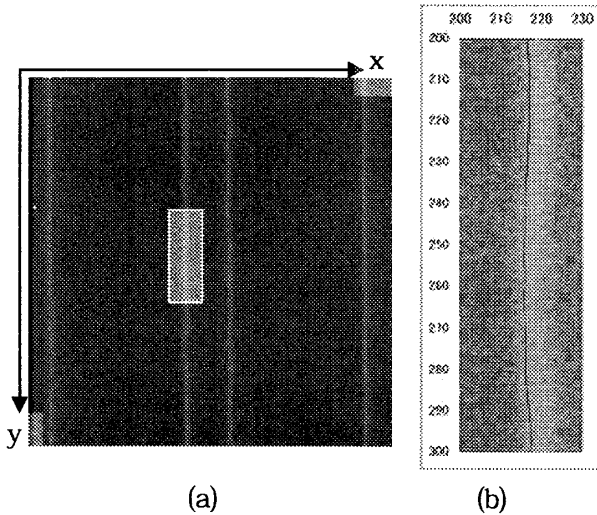


図2 実験画像と結果

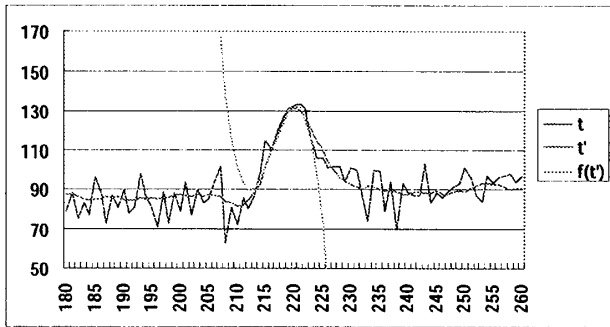


図3 関数近似例

表1 平均と標準偏差

画像番号	平均(pixel)	標準偏差(pixel)
1	216.611	0.515
2	215.628	0.476
3	218.032	0.723
4	218.877	0.669
5	216.905	0.559
6	220.264	0.548
7	216.980	0.527
8	215.962	0.364
9	215.499	0.416
10	216.948	0.548

4. 考察

図2(b)より、ERA法がエッジラインを正確にトレースできていることが明らかである。また、画像のずれ補正をかけることによりエッジ検出位置が補正画像間でほぼ一致した。このことからERA法は雑音の多いSEM画像におけるエッジ検出に極めて有効であると考えられる。

5. まとめ

提案したERA法により高い精度でエッジ位置を再現性良く検出できた。このことから、微細なLSIパターン等のエッジラフネスの評価、線幅変動検出への適用が期待できる。但し、本検出手法ではエッジ位置を検出する際にエッジ検出範囲を厳密に設定しなければならない、その設定は煩わしい。また、エッジラインが画像に対して傾いている場合にエッジ位置の範囲設定は容易でない。

今後はこれらの問題の解決を図ると共にLSIパターンの測長精度の検証を進めていく予定である。

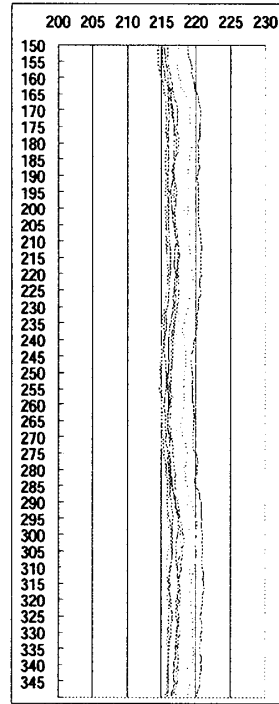


図4 エッジライン検出 (補正前)

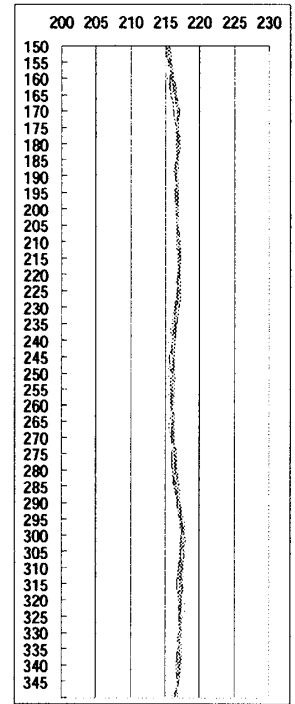


図5 エッジライン検出 (補正後)

6. 参考文献

- 1)中山義則:“電子ビームによる半導体パターン計測”精密工学会誌 p342-344 vol.68 No.3 2002
- 2)初沢 毅:“マイクロパターン測長におけるエッジ”精密工学会誌 1988-11
- 3)谷村、初澤、豊田:“LSI用マスクパターンの線幅測定”精密工学会誌 p596-598 vol.60 No.4 1994
- 4)吉澤 正樹, 守屋 茂:“電子線リソグラフィにおけるレジストパターンのエッジラフネス”信学技法 TECHNICAL REPORT OF IEICE.SDM2000-159(2000-11)