

低コントラスト欠陥の評価手法の研究

1. 目的

人間の視覚基準に準拠して低コントラスト欠陥の評価が行える技術を開発する。本年度は、対象を半導体ウェハとし、人間の視覚基準を基に、半導体ウェハの酸化膜の厚さむらを視覚化し、判別が行えることを目標として研究を行った。光学的に膜厚を計測する装置は開発されているが、ポイントもしくは小領域計測である。このため、広範囲のむらの計測には時間がかかり、インラインでの検査には不向きで、生産現場では目視検査が主に実施されてきた。半導体ウェハ製品において、厚さむらは、数ナノメートル以下の膜厚差でも問題となる場合があり、微弱なむらは、熟練の検査員でも判別が難しい。

2. 撮像方法

3波長蛍光灯とカラーラインセンサカメラを用いて、光源の入射角とカメラの撮影角を一致させることにより、検査対象物（ワーク）表面を正反射の位置で撮影する。これにより、カメラのRGBの帯域で、蛍光灯の3つの輝線スペクトルに対応する干渉画像が得られる。すなわち、3波長それぞれの干渉画像は、カラーカメラでは色むらとして観察される。照明とカメラの撮影角度は、むらが最も見やすい位置に設定し、ワークを移動させながらカラーラインセンサカメラで画像を取得する。ただし、色の変化は微弱であるため、画像取得前には標準のワークまたは白色板を用いてシェーディング補正を実施しておく。

3. 可視化方法

可視化は、取得したカラー画像から、まず、色の出現頻度を表す頻度画像を作成する。つぎに、頻度画像の頻度の大きい部分を抽出し、この部分を均一領域とし、均一領域の平均より基準ベクトルを求める。さらに、各カラー画素ベクトルと基準ベクトルとの差分ベクトルを求め、差分ベクトルの起点をRGBカラー空間の中央とすることで、差分ベクトルの終点の色座標を求める。この時、各差分ベクトルには、人間の視覚に基づいた係数を乗じておく。最後に、元のカラー値を、求めた終点の色座標に置き換えることによりむらの可視化を行う。

頻度画像は、頻度情報を有するカラーヒストグラム空間を利用して作成する。

カラー画像を、座標を表す2つの独立変数 x, y の関数 $f(x, y)$ によって表現し、 $f(x, y)$ をカラーヒストグ

ラム空間上にプロットしたものを H とする。 H は R, G, B それぞれの座標の成分とその座標における頻度を保持している。

元の画像 $f(x, y)$ のカラー値を H より得られる頻度に置き換えると $f(x, y)$ は、カラー値の出現頻度を表す濃淡画像となる。この画像を頻度画像と呼ぶ。

均一性の高い検査対象物に対しては、頻度画像の頻度の高い部分は均一部で、頻度の低い部分は不均一部分となる。

4. 実験結果

シリコンウェハ上に形成された酸化膜に対してむらの可視化を行ったところ、可視化された画像では、むらの変化量の大きな箇所は色変化が大きな箇所として表示され、2nm程度の膜厚差を色むらとして視認することが可能であった。一方、膜厚差が緩やかに変化している箇所では、色の変化も緩やかとなり視認しにくかった。実際には、膜厚差の変化量の大きい部分のみが欠陥部であり、緩やかに変化している箇所は欠陥とならない。これは製品の性能面から決まる判定基準であるが、人間の知覚にもよく一致していると考えられる。

また、光学式のポイント計測器を用いて、ワークの酸化膜の複数箇所の膜厚測定を行った結果と、可視化した画像を比較したところ、実測値と視覚的に似かよった分布を得ることができた。

なお、可視化に際しては膜厚の微小変化がRGB値のリニア変動として高感度に検出できる角度を選択しているが、実測値との相関は十分に検討していない。対象ワークの設計基準膜厚とその許容変動幅が分かれば、干渉強度の光学的な特性からRGB値の変動を予測することは可能であるが、対象ワークを特定できない状況では推定が難しい。

5. まとめ

半導体ウェハ酸化膜の微小な膜厚むらの変化を色むらとして検出し、視覚化を行ったところ、実測値と視覚的に似かよった分布を得ることができた。これにより、2nm程度の高低差のある膜厚むらを視認することが可能であった。半導体ウェハの酸化膜の検査においては、検査基準が厚さを基に決められているため、この厚さの判別を容易に行えるような可視化手法を用いることができた。今後は、微弱な汚れのように、検査基準が曖昧なものについても検討する。