



ストークス偏光計によるレンズの傷検査

宇都宮大学 光工学プログラム/オプティクス教育研究センター

大谷幸利

1. はじめに

精密加工における生産工程の評価や様々な製品の最終検査にマイクロメートルからナノメートルオーダーの傷や欠陥の検出が求められている。現在でも、現場レベルで多く用いられている多くの検査方法は、人の手による目視である。これは、広範囲な測定領域を瞬時に認識できる点で優れている一方で、経験によるばらつきや疲労などの体調要因による検出精度のばらつきが大きいなど問題があった。そこで、これらの検査装置の自動化が試みられている、多くは、ハードウェアとして照明とカメラの組合せで検出した画像をソフトウェア処理して欠陥検出を試みるものである。ここでは様々な照明方法や解析アルゴリズムが提案されているが、分解能や検出速度で残念ながら実用化に至っていない。

さらに、傷や欠陥が小さくなるナノ構造は、半導体回路をはじめ機能性光学素子まで広く利用されている。ここでも品質管理のため生産ラインでの形状の評価や欠陥計測が全品なおかつ高速で求められている。ナノ構造になると光学顕微鏡では回折限界により検出ができない。そのため、AFM (Atomic Force Microscopy) や CD-SEM (Critical Dimension Scanning Electron Microscopy) が導入されているが、低コスト化と高速化の実現のために非破壊、非接触、かつ空気中の大面積での観察が望まれてきた。スキャッタロメトリは、ナノ構造に光を照射したときに生じる反射光の光強度、楕円偏光 (エリプソパラメータ) やミューラー行列として偏光パラメータを捉え、これと光学シミュレーションにより事前に計算しておいたテンプレートとマッチングを取ることで形状や欠陥を捉えようとするものである¹⁾。しかしながら、テンプレートの事前準備に時間を要するなど目視検査の置き換えと言う目的には汎用性を欠いている。

これらの問題を解決するために、我々は偏光を用いた光学的な欠陥検出手法提案してきた。ここでは、ある偏光状態を照明したときの被測定物からの反射光の偏光状態が、その構造に依存して変化するのでストークス・パラメータによって検出できる^{2,3)}。特に、欠陥部分においては、散乱が発生する。散乱光は、偏光もスクランブルさせるので偏光解消成分を捉えることが重要になってくる。欠陥やキズ検出は、物体からの反射光のストークス・パラメータをイメージングすることで可能となる。ストークス・パラメータは、光の偏光状態を $S_0 \sim S_3$ の 4 つの要素ですべての偏光状態を表現できる。 S_0 は光強度、 S_1 は水平と垂直直線偏光成分の差、 S_2 は 45° と -45° 直線偏光成分の差、 S_3 は右回り。左回り円偏光成分の差である。物体からの反射光の偏光状態は、入射偏光状態に応じて直線偏光、円偏光または楕円偏光となる。さらに、これらの混在度合を偏光度 (DoP) として評価し、完全偏光を 1、非偏光を 0 として、部分偏光を 0 から 1 の間で表すことができる。例えば、物体にナノ構造があれば構造複屈折により楕円偏光、欠陥やエッジ等があれば光が散乱し非偏光成分が混在する。

従来のストークス偏光計は、回転検光子法や回転位相子法が提案されてきた。我々は、位相子と検光子を 1 : 3 の比で回転させる 2 重回転法により、位相子の波長依存性のキャリブレーションと分光ストークス・イメージング偏光計を可能としてきた。さらに、昨今注目されている偏光カメラによってもストークスイメージングができることを示している。今回、この偏光計によって欠陥検査としてレンズのキズ検出を可能としたので報告する。