

Feature Article

特集論文

50周年記念製品

レティクル/マスク異物検査装置 PR-PD3 パターン/異物 信号弁別方法の詳細

神崎 豊樹



【開発に携わったメンバー】

後列左から

池本 和幸 吉永 秀 神崎 豊樹 中嶋 嘉之

前列左から

廣嶋 幸夫 伊東 俊哉 藤村 大輔

光散乱を利用したレティクル/マスク異物検査装置では、異物からの散乱光(異物光)とパターンからの散乱/回折光(パターン光)を弁別することが最も重要な技術要素である。PDシリーズでは、主として散乱光の偏光特性を利用し弁別を行ってきた。初期の装置では光学系の配置と偏光板によるパターン光の消光を利用し、次のシリーズではパターン光を消光する検出器と異物光を消光する検出器の信号強度比を利用していた。更に最近の機種では、パターン光と異物光の信号形状に着目した信号処理を行っている。最新のPR-PD3では、これまでの弁別方法の長所を網羅する弁別方法を取り、より多くのパターンに対応できる信号処理方法としている。

はじめに

半導体デバイス製造技術や、周辺の検査技術もさまざまに変化し、異物検査装置に要求される性能も大きく変化している。

特に近年では、最先端技術が用いられる技術領域と従来技術が用いられる技術領域の差が大きくなっている。これに伴い、光散乱異物検査装置が対応すべきサンプルの特性も非常に幅広いものとなり、特定の領域だけを対象とした技術では対応できなくなっている。

このような背景にたって、これまでのPDシリーズで培ったパターン/異物弁別技術の長所を集め、多種多様なレティクル/マスクパターンに対応できる信号処理方法を開発し、PR-PD3に搭載した。PR-PD3の外観を図1に示す。

以下、これら弁別方法の仕組みと特徴を従来の弁別方法と共に述べる。



図1 PR-PD3の外観

レティクル/マスク異物検査装置の課題

光散乱式の異物検査装置は、図2に示されているように測定面上を適宜収束させたレーザ光で走査し、この光がサンプル面上の異物を照射する際の散乱光を検出するものである。

異物感度を高くするためには、光源の光量を多くすることや検出系の信号増幅率を高くすることなどが考えられる。しかしながら、サンプル上パターンからも散乱/回折光を生じ、これが妨害要因となる。このため、単純に感度を高くするとパターンからの散乱光による誤検出が多くなり、目的の異物を見つけることができないばかりか、多数の誤検出信号により装置記憶容量が消費され、測定そのものを正常に行うことができなくなる。

すなわち、感度を高くする時には、少なくとも感度を高くした分以上に、パターン光に対する異物光のS/Nを向上させる必要がある。

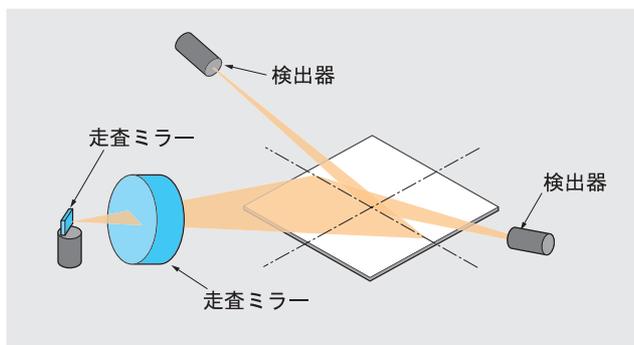


図2 基本となる光学系

従来の信号処理方法の特徴

従来の信号処理方法 偏光差動法

基本構成

異物光のパターン光に対するS/Nを向上させる手段の一つが、ここに述べる偏光差動法である。図3に偏光差動法の検出系構成を示す。

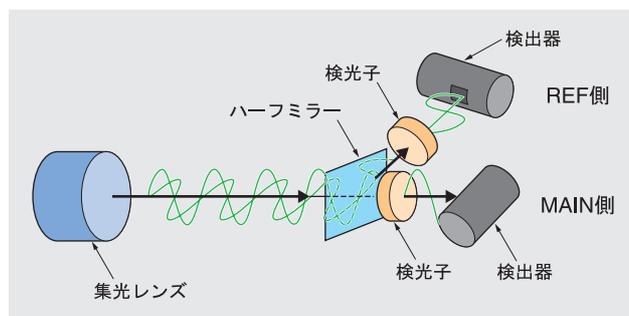


図3 偏光差動検出系

偏光差動法は、パターン光の偏光特性が照射する光の偏光や入射角度、検出器の配置により、ほぼ一定角度の偏光方向を持った直線偏光に近いものになることと、異物光の偏光特性は異物によって多様であることに着目したものである。

図3の光学系で検光子(偏光板)の角度を変えながら信号出力をとると、理想的には図4のような信号状態を確認できる。この場合、検光子の角度によっては、一定強度以上の信号を異物光信号と考えてもよいことがわかる。実際には、図のような特徴を持ちながらも全体の強度が高いパターン光信号があり、一定強度以上の信号を異物光信号とすると誤検出が表れる。

図4に表れる特徴を捉えてパターン光信号が強い場合にも、異物光とパターン光を弁別するのが、偏光差動法の目的である。

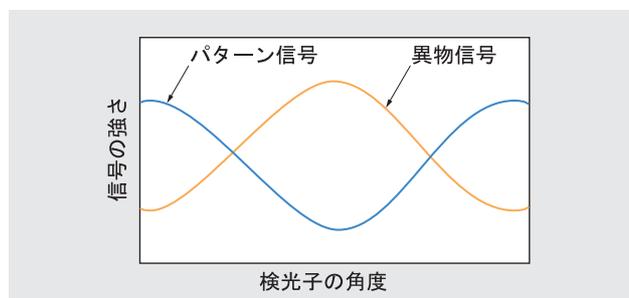


図4 異物/パターン散乱光の偏光特性

図3のようにハーフミラーで2光路に分けた光を、一方はパターン光を消光する角度に検光子を備えた検出器 (MAIN) に、もう一方はパターン光を強く検出する角度に検光子を備えた検出器 (REF) に導く。両者の信号を比較し、MAIN側の信号がより高ければ、これを異物信号として採用し、REF側の信号が高ければ、これをパターン信号として棄却する。これによって、異物光とパターン光を弁別できる。この時、パターン光のREF信号が、MAIN信号を越える程度となるように、REF感度を調整しておく。

偏光差動法の特徴

図5 (a) は、パターン光の偏光特性のREF/MAIN信号比が十分高い場合を表している。パターン信号のREF/MAIN比が、1をやや上回るようにREF感度を調整すると、REF側に現れる異物の信号は十分に低く (REF検出器感度を十分低くしているため)、REF/MAIN信号比が1を越えるかどうかによって評価すると、異物信号だけを取り出すことができる (1より小が異物)。一方、REF側があまり高くないパターン信号を消すためには、図5 (b) のように、REF感度を図5 (a) に比べて、高く設定する必要がある。結果として、異物のREF信号が十分低くならず、異物信号を見逃す場合がある。このように、パターン光のREF/MAIN信号比によって、偏光差動の有効性が大きく変化する。

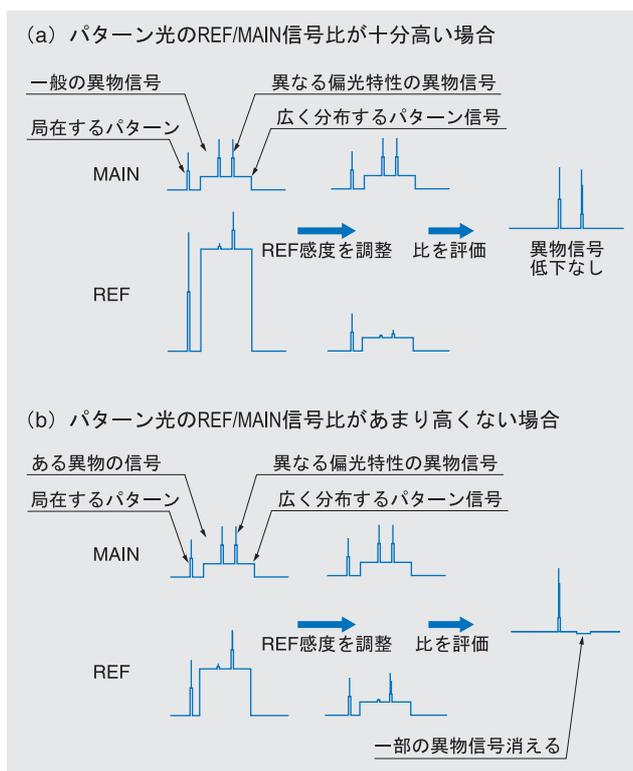


図5 偏光差動法での信号処理過程

従来の信号処理方法 ローパス差

0.35 μm感度機のPR-PD2では、主として微細で密なパターンが広く分布するサンプルを主たるターゲットと考え、これらパターンの信号を低減する方法として以下のような信号処理方法を採用している。図6 (a) は、密なパターンからの信号を表している。横軸に時間、縦軸に信号強度をとる時、パターンからの信号は矩形を基本とした信号形状をなす。逆に、疎に並ぶパターンや異物からの信号は独立して存在し、図6 (b) のように、鋭い信号が表れる。

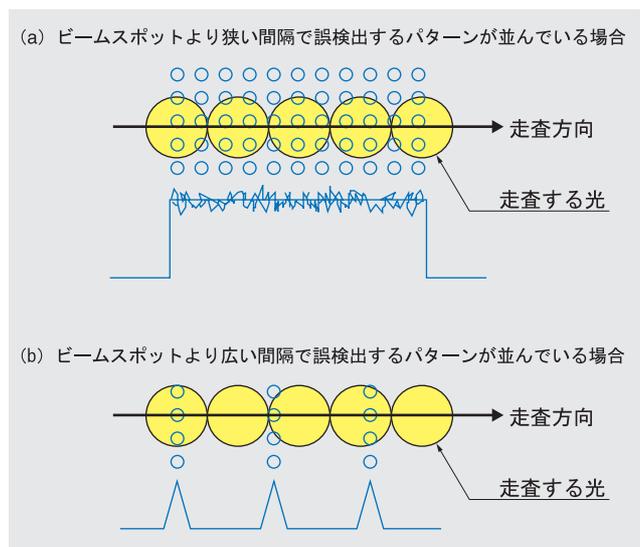


図6 パターンの並びによる信号形状の違い

この特徴を捉え、矩形信号のみを低減しようとするのが以下の信号処理方法である。検出器から出力された信号を2系統に分け、一方はローパスフィルタを通し、もう一方の信号からローパスフィルタを通した信号を差し引く。この時、図7に示したように、矩形部分の信号高さは低減され、異物信号などは低減されない。パターンの分布の状態に信号処理の有効性が強く影響されるが、信号処理の有効性を感覚的に捉えやすいことと、パターン中に存在する異物でも一定の強度があれば、この信号処理方法によって見逃しが発生しにくいことが特徴といえる。

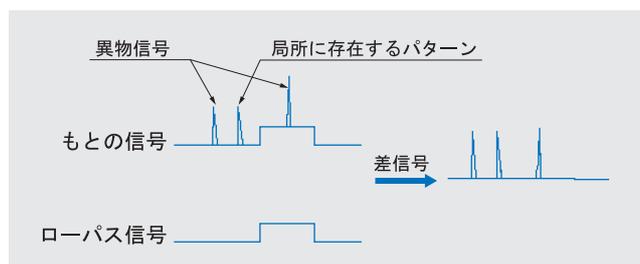


図7 信号形状をもとにした信号処理方法

PR-PD3の信号処理方法

ここまで説明してきた信号処理方法の特徴をパターン形状などとの関連でまとめると表1のように分類することができる。

表1 パターンの特徴と信号処理の効果

パターン形状や分布			REF/MAIN信号比			
粗細	疎密	分布	1に近いか,1以下		十分大きい	
			ローパス差	偏光差動	ローパス差	偏光差動
細	密	広い	x	x	x	
		局在				
粗	疎	広い	x	x	x	
		局在				

:適切に異物検出可能
x:異物検出に適さない

この表から 2つの信号処理方法は部分的に補い合う関係にあると考えられる。

それぞれの特長を發揮できるようにしながら 2つの信号処理方法をあわせて使用することができれば、表1からわかるように対応できるパターンの範囲が拡大できると考えられる。

加えて 表1のxの部分でもパターン信号低減効果を得るため、偏光差動法の使い方に若干の変更を加え 2つの信号処理方法を合わせたのが、以下に述べる信号処理方法である。

PR-PD3では、偏光差動法をMAIN信号とREF信号の差をとる方法に変更し、偏光差動により得られた差信号に、図7の信号処理を施している。

図8は、図5(b)と同様にREF信号が高くない場合を表している。図8の前段が偏光差動である。ここでは、異物を見逃さないようREF感度を低く押さええており、REFのパターン信号がMAINに比べて低くなっている。従って、パターン信号の低減効果は十分ではない。しかし、局在するパターンも広く分布するパターンもある程度の信号低下効果が得られていることがわかる(従来法ではREF/MAIN比を評価していたため、この状態ではパターン信号に何の効果ももたらさない)。

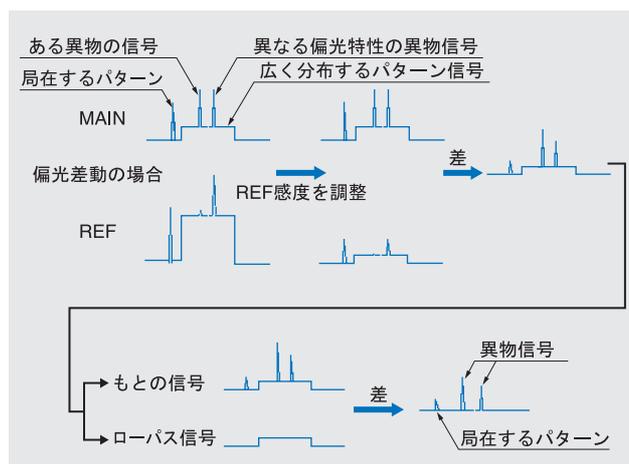


図8 PR-PD3の信号処理方法

更に後段の信号処理を用いることで、広く存在するパターン信号は低減することができる。

このように、差をとる偏光差動法とローパスフィルタを用いた方法を連続させることで、以下の新たな効果を得ることができた。

異物を見逃さない程度のREF感度設定でも、パターン信号の低減効果が得られる。

もとのREF信号が高くない場合でも、信号を低下させることができる。前段の偏光差動法により、パターン信号がある程度低減されるため、後段の信号処理の効果が表れやすい(実際の信号処理では信号の立ち上がり部などが低減できなかったが、偏光差動により矩形信号がやや減じられるため、立ち上がり部の影響が少なくなる)。

このように、図(a)のような粗いパターンから図(b)の密なパターンまで、さまざまなパターン構成に対してパターン信号の低減効果を得ることが可能となり、かつ異物の見逃しの可能性も低減することが可能となった。

おわりに

本稿では、信号処理についてのみ述べており、装置の詳細については触れていない。

装置のその他の仕様については、http://www.horiba_semi.comを参照願いたい。