(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3551422号
(P3551422)
(45)発行日　平成16年8月4日(2004.8.4)　(24)登録日　平成16年5月14日(2004.5.14)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H01L 21/027	H01L	21/30	516Z
G02B 27/58	G02B	27/58	
G03F 7/20	G03F	7/20	521

請求項の数 33　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願平7-78216
(22)出願日　平成7年3月9日(1995.3.9)
(65)公開番号　特開平8-22953
(43)公開日　平成8年1月23日(1996.1.23)
審査請求日　平成14年3月8日(2002.3.8)
(31)優先権主張番号　209026
(32)優先日　平成6年3月9日(1994.3.9)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号
(74)代理人　100064447
弁理士　岡部　正夫
(74)代理人　100077919
弁理士　井上　義雄
(74)代理人　100085176
弁理士　加藤　伸晃
(74)代理人　100096943
弁理士　臼井　伸一
(74)代理人　100091889
弁理士　藤野　育男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】空間像を解析する方法及び装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
光源と光路とを有する光学投影リソグラフィ装置により形成された空間像を光学的に解析する方法において、
前記光学投影リソグラフィ装置の像面に近似する第１面にスリットを配置するステップであって、このスリットは前記光源の波長より小さい幅と等価な構造体を有するようになっているステップと、
前記第１面内でかつ横切るように前記スリットを移動させるステップであって、この移動は前記スリットの長さに対して直角な方向になされるようになっているステップと、
前記スリットを透過した光の強度をスリット位置の関数として検出するステップとからなる方法。
【請求項２】
請求項１の方法において、前記スリットは、前記光の波長より大きいスリット長さと等価な構造体を有する方法。
【請求項３】
請求項１の方法において、前記スリットは、第１、第２の平行な側壁を有する方法。
【請求項４】
請求項１の方法において、前記スリットは、第１、第２の非平行な側壁を有し、前記第１、第２の側壁は、Ｖ字形をなし、前記光は、前記スリットの最も広い領域で該スリット上に入射する方法。

【請求項５】
請求項４の方法において、各側壁と前記光路との角度は、３０ないし６０度の範囲である方法。
【請求項６】
請求項１の方法において、前記スリットは、第１、第２の非平行な側壁を有し、前記第１、第２の側壁は、逆Ｖ字形をなし、前記光は、前記スリットの最も狭い領域で該スリット上に入射する方法。
【請求項７】
請求項６の方法において、各側壁と前記光路との角度は、３０ないし６０度の範囲である方法。
【請求項８】
請求項１の方法において、前記スリットはトンネルスリットである方法。
【請求項９】
請求項８の方法において、前記トンネルスリットは、
基板と、
該基板に支持されそこから延在する隆起部と、
前記基板と前記隆起部の第１面とに重ねる金属膜であって、該隆起部の最も高い部分を覆う該金属膜の厚さは、前記光の波長よりかなり小さい金属膜とからなる方法。
【請求項１０】
請求項９の方法において、前記隆起は光学的透明材料から製造されている方法。
【請求項１１】
請求項９の方法において、前記隆起は蛍光材料から製造されている方法。
【請求項１２】
請求項９の方法において、前記基板は蛍光検出装置の表面である方法。
【請求項１３】
請求項９の方法において、前記基板は光パイプである方法
。
【請求項１４】
光源と光路とを有する光学投影リソグラフィ装置により形成された空間像を光学的に解析する方法において、
前記光学投影リソグラフィ装置の像面に近似する第１面に複数のスリットを配置するステップであって、各スリットは前記光源の波長より小さい幅と等価な構造体を有するようになっているステップと、
前記第１面内でかつ横切るように前記複数のスリットを移動させるステップであって、この移動は前記複数のスリットの長さに対して直角な方向になされるようになっているステップと、
前記複数のスリットを介して送られた光の強度を複数のスリット位置の関数として検出するステップとからなる方法。
【請求項１５】
請求項１４の方法において、前記空間像は、固有の間隔を有する複数の像により特徴づけられ、前記複数のスリットは、ほぼ同じ該固有の間隔により特徴づけられる方法。
【請求項１６】
請求項１４の方法において、前記複数のスリットの各々はトンネルスリットである方法。
【請求項１７】
光源を有する光学投影リソグラフィ装置のセルフメトロジーを行なう空間像解析装置において、
並進ステージと、
該並進ステージに対して配置され、前記光学投影リソグラフィ装置の像面に近似する第１面に位置するスリット板であって、前記光源の波長より小さい幅と等価な構造体を有するようになっているすくなくとも一つのスリットを有するスリット板と、

前記並進ステージに結合された走査機構であって、前記第１面内でかつ横切るように前記スリット板を並進させ、この並進は前記スリットの長さに対して直角な方向になされるようになっている走査機構と、
前記スリット板の近い領域における光の強度を検出する手段とからなる解析装置。
【請求項１８】
請求項１７の装置において、前記走査機構はステップモータである装置。
【請求項１９】
請求項１７の装置において、前記並進ステージはＸ－Ｙ－Ｚステージである装置。
【請求項２０】
請求項１７の装置において、前記検出手段は光パイプと光電増倍管とからなる装置。
【請求項２１】
請求項１７の装置において、前記検出手段は蛍光材料と検出装置とからなる装置。
【請求項２２】
請求項１７の装置において、前記スリット板の少なくとも一つのスリットは、前記光の波長より大きいスリット長さと等価な構造体を有する装置。
【請求項２３】
請求項１７の装置において、前記スリット板の少なくとも一つのスリットは、第１、第２の平行な側壁を有する装置。
【請求項２４】
請求項１７の装置において、前記スリット板の少なくとも一つのスリットは、第１、第２の非平行な側壁を有し、前記第１、第２の側壁は
、Ｖ字形となっており、前記光は、前記スリットの最も広い領域で該スリット上に入射する方法。
【請求項２５】
請求項２４の装置において、各側壁と前記光路との角度は
、３０ないし６０度の範囲である方法。
【請求項２６】
請求項１７の装置において、前記スリット板の少なくとも一つのスリットは、第１、第２の非平行な側壁を有し、前記第１、第２の側壁は
、逆Ｖ字形をなし、前記光は、前記スリットの最も狭い領域で該スリット上に入射する装置。
【請求項２７】
請求項２６の装置において、各側壁と前記光路との角度は、３０ないし６０度の範囲である装置。
【請求項２８】
請求項１７の装置において、前記スリット板の少なくとも一つのスリットは、トンネルスリットである装置。
【請求項２９】
請求項２８の装置において、前記トンネルスリットは、
隆起と、
該隆起に結合された基板と、
前記基板と前記隆起部の第１面とに重なる金属膜であって、該隆起部の最も高い部分を覆う該金属膜は、前記光の波長よりかなり小さい金属膜とからなる方法
。
【請求項３０】
請求項２９の装置において、前記隆起は光学的透明材料から製造されている装置。
【請求項３１】
請求項２９の装置において、前記隆起は蛍光材料から製造されている装置。
【請求項３２】
請求項２９の装置において、前記基板は蛍光検出装置の表面である装置。

【請求項３３】
請求項２９の装置において、前記基板は光パイプである装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、光投影リソグラフィ装置のセルフメトロロジーに関し、より具体的には、サブ波長スリットを使用する装置の空間像を解析する方法及び装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
集積回路装置の機構サイズが小さくなるに従い、光リソグラフィ装置における光学的トレインに対する要求が厳しくなってきている。このことは、光学装置の動作を精確に且つ実時間でモニターする技術に対する要求を強めている。
装置の動作をモニターする通常の従来技術においては、レチクルパターンが、レジストを塗布された基板上に結像される。次いで、基板は、現像され、光学装置の動作を解析すべく使用される。解析は、レチクルの完全な像のコンボルージョンであるパターンとステッパー光学装置の動作特性とに基づいている。
【０００３】
【発明が解決しようとする課題】
不都合なことに、フォトレジスト技術の非線形性は、第３の変数をもたらし、この第３の変数は、データを正確にまとめて光学装置の動作を正確に引き出すことを困難にする。この解析方法に伴う別の問題点は、時間がかかるということである。
【０００４】
【課題を解決するための手段】
本発明は、サブ波長スリット（それを照明する光の波長よりも狭いスリット）又はその機能的等価物を使用する光学装置の空間像を解析する方法及び装置を提供する。空間像は、光学装置の合焦面における又はその近傍位置における強度分布と関連している。特に光学装置の回折限界の近傍で動作する装置においては、その像の解析は、光学装置の動作に関する貴重な実時間情報を提供する。
【０００５】
スリットを通り抜けて伝達されるエネルギー量を多くすべく、円形のアパーチャーの代わりに、スリットが使用される。有限の厚さの金属箔におけるサブ波長円形アパーチャーは、本質的にエバネッセント光のみを透過させる。エバネッセント光は、アパーチャー縁部の直近で生成される電磁場と関連している。これらの電磁場は、通常の電磁波のようには伝播せず、従って、離れた場所では検出され得ない。しかしながら、誘電体媒質が存在するならば、エバネッセント光の幾らかかは、検出され得る伝播波に変換される。スリットも、その縁部に平行な磁気ベクトルを有する入射光に対しては、伝播モードが常に存在し、エバネッセント光を生成するが、その場合スリットの透過率を実質的に増大させる。
【０００６】
好適な実施例においては、スリット板は、光投影リソグラフィ装置のウエハ保持ステージに含まれている。ウエハを露光する前に光学装置の空間像を計測すべく、ステージは、スリット板が光学装置の結像面の近傍位置に来るように再配置される。レチクルを特別なテストパターンで置き換えた後、スリットが結像面を横切るようにして走査される一方、スリットの透過率がモニターされる。これは、発生された像の高解像度の強度プロファイルをユーザーに提供する。好適な実施例においては、スリットの近傍位置に装着される蛍光物質が、エバネッセント光を含む透過光を、その後光検出器によって検出される、より長い波長に変換する。空間像の強度プロファイルから、光学装置における誤差が決定され得る。従って、この装置は、光学装置の動作を実時間で且つ高忠実度でモニターする方法を提供する。
【０００７】
スリットによって非常に容易に解析される空間像は、スリットの長軸に平行に向いている

線状の像であり、スリットの長さよりも長い。スリット板は、幾つかの方向に向いている複数のスリットを好適に有しており、もって、異なる方向を有する複数の線状パターンが解析され得る。スリット及びそれらに対応するパターンは、所定の方向の１つ又は複数のスリットのみが所定の時刻に照明されるように位置付けられている。

【０００８】

別の実施例においては、サブ波長スリットの代わりに、トンネルスリットが使用される。サブ波長スリットと機能的には等価であるトンネルスリットは、表面に、実際のスリット又は障害物を有していない。それは、サブ波長スリットの透過特性と類似の透過特性を有するように設計され且つ製造されている。トンネルスリットは、サブ波長よりも製造するのが潜在的に容易であると共に、同等の性能を提供する。

【０００９】

別の実施例においては、平行に連続する像からなる空間像は、像の周期性と同じ間隔を備えた一連の平行スリットを用いて解析される。この実施例においては、スリットは、サブ波長スリットであっても、トンネルスリットであってもよい。多重スリット構成により、強度が増大すると共に、ＳＮ比も向上する。

【００１０】

研究の結果、モリブデン（Ｍｏ）又はシリコン（Ｓｉ）の１５０ｎｍ幅のスリットであって、垂直な壁部と約１２０ｎｍの厚さとを有するものが、ほぼ理想的な空間像モニターを提供するということが判明した。このスリットは、ＴＥモード（ＴＥＭ）及びＴＭモード（ＴＭＭ）の両方の偏光状態に対して約５％以内まで空間像の幅を再生する。更に、ＴＥＭ及びＴＭＭに対する透過率は、約５％以内である。スリットによって決定された像コントラストは、空間像のそれと良く一致している。信号対雑音に関する考察から、長さが１０μｍの単一のスリットを用いることにより、１秒未満で像を測定することが可能である。

【００１１】

本発明で使用されるサブ波長スリットは、垂直な側壁を備えているもの（標準スリットとも呼ばれる）又は傾斜している側壁を備えているもの（Ｖ字形スリットとも呼ばれる）が製造され得る。垂直壁のスリットは、電子ビームリソグラフィを用いて製造され得る。しかしながら、Ｖ字形スリット及びトンネルスリットは、光リソグラフィ技術を用いてシリコン（Ｓｉ）から製造され得る。

明細書の残余の部分及び図面を参照することにより、本発明の性質及び利点がより理解されよう。

【００１２】

システムの全体

図１は光学的ステッパリソグラフィ装置１０を示す。典型的なチップ処理工程においては、光源１２と光学系１４とはウエハ１７上にレチクル１５の像を結ぶ。ウエハ１７はＸ－Ｙ－Ｚ位置決めステージ１８上に載置されている。ステージ１８はウエハ１７に結像されるパターンのステップアンドリピート走査を許す。ステージ１８上には、またスリット板１１が載置されており、このスリット板１１は、本実施例の場合、いくつかのスリット１３を含んでおり、これらスリット１３はそれぞれ異なった方向に向いている。直線座標系２０が模式的に図中に記されている。

【００１３】

図２は変形したステッパ１０の光学的作動を測定するための一手段として本発明の一実施例の使用例を示している。従来技術におけるように、レチクル１５は特別のテストパターンでもって置き換えられる（ステップ３０）。ステージ１８はウエハ１７がサブ波長スリット１３もしくはこれに機能的に同等なもので置き換えられるまで並進運動される（ステップ３２）。この位置で、スリットが像平面の中にもしくは像平面の数波長内におかれる。スリットはついで像平面を横切って移動すなわち走査され、スリットの長軸が走査方向に直角に保持される（ステップ３４）。走査作業中、スリットの透過強度がモニターされ、記録される（ステップ３５）。測定された強度のプロファイルは「完全な」ステッパか

ら期待される前もって計算されたプロファイルに比較される（ステップ３６）。この比較から光学系の作動特性が決定される（ステップ３８）。

【００１４】

図３はテストパターンの一例を示す。ステッパーのＸ－Ｙ座標系に対して異なった向きで何組かの線状のパターンがステッパ光学系のイメージフィールドの異なった区域に置かれている。このようなパターンはイメージフィールド全体にわたって像の質を良く特徴づけることを可能なならしめ、そして球面収差、コマ収差及び非点収差のような基本的なレンズ収差を別々に決定づけるようなものであるべきである。異なった線幅を有する線状パターンの組を付加して、露出条件を最適にするために使用することができるさらに付加的な情報を提供することもできる。本発明は、したがって、光学系のリアルタイムでかつ正確度の高い解析を行うことのできる有利さを提供する。

【００１５】

図４は数本の平行な線状パターンの空間像についての同時的計測を示している。単一のスリットが使用される代わりに多数のスリット４２が使用され、それにより信号レベルを増大している。スリットの周期すなわち間隔は所望のより高い信号レベルを達成するために分析すべき空間像すなわち空間像の間隔すなわち周期に等しいかあるいはその倍数にすべきである。スリット４２のすべての長軸は走査方向に直角に保持される。この実施例において、蛍光材料４５がスリット４２の近傍域内に設けられている。蛍光材料４５は光をより長波長にかえてフォトディテクタ４６に検出されるようにする。蛍光材料を使用することはより長い波長で光を検出することをより容易にするという利点がある。

【００１６】

図５は別の実施例を示しており、ここでは蛍光材料４５とディテクタ４６とがフォトンを光増倍管４８に伝達する光パイプ４７で置き換えられている。

【００１７】

スリット特性

図６は種種のスリット形状の作用を解析するために使用される解析用導波モデルの一例を示している。スリットはＺ方向（膜の面に直角方向）において導波路のように扱われる。もしスリットの寸法がＺ方向で変化しているとすれば、Ｚ方向に依存して大きさを変えてかつ互いに上下関係にある数個の導波路部分すなわち「スラブ」５１が使用される。

【００１８】

各スラブ５１に対して固有関数が計算される。偏光効果とエバネッセント光が含まれる。ある入射平面波に対して、スラブ、基板、及び空気との間のインターフェイスでの境界条件がすべてのスラブの固有関数に対して固有値を得るために釣り合わされる。導電性スラブについては、固有値は複素数である。次に入射平面波を透過波に結びつけるＳ－マトリックスが計算される。Ｓ－マトリックスは完全にスリット構造体の透過特性を規定する。空間像に対して像は平面波成分にフーリエ変換される。ついで、Ｓ－マトリックスはこれら平面波成分をスリット透過するように与えられ、そこでそれら成分は再結合されて透過振幅と強度とを与える。上記解析はその計算にグレーティング・イクエイション・フォーマリズムする、計算上回折格子として取り扱っているので、一組あるいは一揃いのスリットが全計算において仮定される。２マイクロメーターのリピート距離５２が使用される。

【００１９】

図７はスリット壁が平行でかつ垂直であるスリットの透過率体膜厚をプロットしたものである。ここで透過率について若干説明をする。通常、透過率はスリットに入射する光のうち透過した部分の割合として定義される。単位長さあたりの透過したパワーはスリット幅と透過係数に比例する。しかしながら、透過率とはここでは非常に薄い膜の部分透明性の効果をも含めるようにするために、１リピート距離にわたり入射する光の透過部分として定義する。

【００２０】

好ましい実施例においては、スリットは当業界において周知の標準的な超小型回路処理技術を使用して作られる。スリット膜は蛍光コンバータを表す誘電基板の頂面におかれ、該

蛍光コンバータは好ましい実施例においてはCaF_2　で作られている。屈折率は１．４６８とされる。サブストレートすなわち基板の存在は透過率にある影響を持っている。クロム（Ｃｒ）とＭｏとの両方のスリット膜は各々５０，１００，２００ｎｍのスリット幅に対して解析される。ＭｏとＳｉとはほとんど光学定数が同じであり、したがって、同様な作用を有することを期待することができる。Ｓｉから作られたスリットはＭｏのスリットよりもよりずっとたやすく作ることができる。

【００２１】

図７に示すように、小さな金属膜厚に対して多くの場合において、実際の金属膜内のスリットを通る透過率は完全導電体の場合に対しての透過率をしのぐ。これは、薄い膜に対して膜を通り抜ける光のトンネル効果が顕著であるためである。この効果はＭｏ膜に対してより小さいが、それはＭｏの消光係数がＣｒのそれの約２倍あるからである。

【００２２】

図８（ａ）－（ｃ）は別のスリットの幾何学的形状を示す。スリット７１はスリット壁７２が垂直でありかつ光軸７３に平行である標準的なスリットである。スリット７４はＶ字状のものであるが、スリット７５は逆Ｖ字状である。スリット壁と光軸７３との間の角度は両スリット７４と７５とも４５度をなしているが、しかし他の角度（たとえば３０－６０度）のものを使用することもできる。矢印７６はスリットへの入射光の方向を示している。材質７７はスリット基板を示している。Ｖ字状スリット７４または逆Ｖ字状スリット７５のいずれかを金属で創り出すことはおそらく困難であるが、〈１００〉配向において単結晶Ｓｉを使用し、かつ異方性エッチングを用いた簡単な方法で作り出すことができる。しかしながら、スリット壁と光軸との間の角度はその場合３５．２６度となるであろう。水平方向の寸法が規則的に変化する一連の長方形／スラブにより近似することでモデル化される。

【００２３】

図９はスリット幅５０，１００，及び２００ｎｍのＶ字状スリットに対する透過率対膜厚をプロットしたものである。金属厚への透過率の従属性は垂直壁を持つ場合よりも複雑である。また垂直壁の場合よりも金属厚の増加とともに透過率の減少が小さくなる。ある程度、より高い透過率はおそらくＶ字状に近いより薄い壁によるものであり、その結果このスリットはより大きな開口を備えた垂直壁スリットのように作用する。同様に、傾斜壁は自由空間とスリットとの内側との間により良いインピーダンスをマッチせしめて、集中ホーン効果（ｃｏｌｌｅｃｔｉｏｎ　ｈｏｒｎ　ｅｆｆｅｃｔ）がある。

【００２４】

図１０はスリット幅５０，１００，及び２００ｎｍを持つ逆Ｖ字状スリットに対する透過率対膜厚をプロットしたものである。Ｖ字状の場合と同様に、垂直壁の場合に対して金属厚の増加に従って減少はより小さくなる。しかしながら、金属厚とともに透過率の変化はＶ字状の場合よりも小さい。

【００２５】

図１１は垂直壁を備えたスリットがスリットと同じ長さであると仮定される線状のパターンを、スリットエッジに直角な０．５μｍの距離にわたる均一の照明をもって走査することに対する信号対背景比（ｓ／ｂ）を示している。この場合、信号はスリットを通過する光であり、一方背景は金属膜を通り抜ける光である。許容できるｓ／ｂ値は、照明が減少する像の端部の近くにスリットがセットされる場合であっても背景が測定に有意な効果をもたらさないようなものである。さらに、単一スリットに対して金属膜を照明する数個の線状の像あるいはパターンがあり、図９に示す結果が１０倍程度の評価不足を示すかも知れない。したがって、ｓ／ｂに対する合理的な値は10^4　とすることができる。必要とされる膜の最小厚はその場合Ｍｏに対して約６０乃至７０ｎｍであり、かつＣｒに対して約１２０乃至１３０ｎｍである。

【００２６】

入射偏光はいつもＴＭモードの成分（スリットの側に平行なＴＭ－磁気ベクトル）およびＴＥモード（スリットの側に平行なＴＥ－電気ベクトル）の成分に分解することができる

。理論的には、少なくとも１つのＴＭモードが常に非常にせまいスリットをさえ通り抜けて伝播することができ、すなわち、それはスリット材料の厚さとともに指数関数的に減衰しない。これは丸い開口に対するスリットの重要な利点である。偏光効果は高い開口数（ＮＡ）のレンズを備えたリソグラフィシステムに重要になりつつあり、それ故偏光を測定することができる空間像センサーが望ましい。さらに、空間像はレジストよりもむしろ空気中で測定されるので、偏光効果は開口数ＮＡがその屈折率だけレジスト中で減少するのでより大きい。

【００２７】

図１２は垂直側壁スリットの場合に対する透過信号内のＴＭ偏光の割合を示す。より小さな幅のスリットに対して、図１１に示されたＳ／Ｂ要件をもつ一定の膜厚に対して偏光は１００％ＴＭであることができる。もし、非偏光センサーが望まれる場合、１００乃至２００ｎｍ間のスリット幅が必要となるであろう。

【００２８】

図１３と図１４とはＶ字状スリットに対する計算の結果を示している。図１３はＴＭ偏光対膜厚の度合いを示し、図１４はＶ字状スリットをもつＭｏスリットに対するＴＭ偏光対スリット幅を示している。この幾何学的形状に対しては非常に高い程度のＴＭ偏光が可能となりそうである。それはまた、約６０ｎｍのスリット幅でかつ１２０ｎｍのメタル厚に対してＴＭ偏光０．５（偏光のないのに対応する）を得ることを可能にするように思われる。上の分析は通常入射波を仮定している。しかしながら、ある有限開口数ＮＡから収束光が使用されるとしても結果はあまり変わらない。

【００２９】

図１５はＭｏ膜厚１２０ｎｍかつ種種のスリット幅をもつＶ字状スリットに対する変調伝達関数（ＭＴＦ）を示している。スリットに対する変調伝達関数ＭＴＦの定義は光学におけるレンズ系に対する変調伝達関数ＭＴＦの通常の定義に完全に類似している。解析は垂直入射平面波と入射角（±θ）である他の２つの平面波とに基づく。膜の表面での振幅（位相ファクター内への）は１＋ｃｏｓ（２πｆ$_T$　Ｘ）であり、ここでｆ$_T$　＝ｓｉｎθ／λは横空間周波数である。この例示の正弦曲線状格子からの透過信号は２πｆ$_T$　Ｘ＝０及び２πｆ$_T$　Ｘ＝πの値に対して計算され、その値で信号振幅は最大（２）及び最小（０）である。これは正弦曲線状パターンを横切ってスリットを走査することに等しい。もし、透過信号がＩ（２πｆ$_T$　Ｘ）であれば、コントラストＣはＣ＝（Ｉ（Ｏ）－Ｉ（π））／（Ｉ（Ｏ）＋Ｉ（π））として定義づけることができる。

【００３０】

Ｃの値はｆ$_T$　に依存する。ｆ$_T$　が小さな値に対して、すなわち非常に長い横間隔もしくは周期に対して、スリットは、強度変化に非常に密接に従い、コントラストはほぼ１となる。しかしながら、ｆ$_T$　が増加するにつれて、コントラストは落ちる。ｆ$_T$　の最大値は１／λであり、ここでλは光の波長である。スリットは、入射波のすべての空間周波数成分を通過させるために少なくともλより小さくなければならない。開口数ＮＡをもつレンズによってつくられるコヒーレントな像に対して、最大空間周波数はＮＡ／λである。加えて、該成分に対するコントラストはノイズが信号を悪化させないほどに十分に高くなければならない。

【００３１】

ＭＴＦは一般にスリット幅と、膜厚と膜の組成に依存するので、走査すべき相当範囲の特性がある。図に比較用に示されているのは、純粋にコヒーレントなあるいはインコヒーレントな光によって照明される開口数が０．６の収差のないレンズに対するＭＴＦである。スリットのＭＴＦはコヒーレントな場合においても高い空間周波数にわたり、そしてインコヒーレントな場合の変調レベルを越える。部分的にコヒーレントな光で照明される線状／空間パターンはコヒーレントとインコヒーレントとの線の間にある。それ故、スリットは空間像内の有意な全ての空間周波数を通過させる層である。しかしながら、より高い周波数の特徴は減少することになる。これはスリットＭＴＦが１．０より小さいからである。それ故補正プロセスを必要とすることもできる。純粋にコヒーレントなあるいはイン

コヒーレントな照明に対して補正プロセスは走査した像をフーリエ変換し、スリットＭＴＦにより周波数スペクトラムを分割し、そしてフーリエ再変換することからなることができる。投影レンズＭＴＦが小さい空間周波数に対しては、これはこの補正プロセスはそれほど正確である必要はない。

【００３２】

図１５はまたＭＴＦがこの特別の場合に対するＴＥモードとＴＭモードに対して異なることを示している。これは上述の２つのモードの透過率の相違に関係している。

【００３３】

図１６はＴＥとＴＭとのＭＴＦがほとんど同じ状況を示している。この例に対して、金属厚１２０ｎｍをもつＭｏにおけるスリット幅６５ｎｍのＶ字状スリットが使用される（図１４参照）。以下に示されるように、１５０ｎｍの垂直壁スリットはＴＥモードとＴＭモードに対してほぼ同じＭＴＦを有しており、そして偏光効果を生じない。

【００３４】

より幅の狭いスリットに対してスリット作用が偏光に敏感であるという事実は解像力と偏光不感度との間の交換があることを示唆している。偏光感度はその効果が測定することができれば、問題はない。これは、異なる偏光依存性をもつ２つのスリットをもって連続的に空間像を測定することによりなすことができる。次いでＴＥ像とＴＭ像とを決定することができる。これらのスリットは同じＭＴＦをもっていないかもしれないが、１より小さいＭＴＦの効果に対して補正することができる限り問題ではない。

【００３５】

まず、偏光依存性が像の空間周波数成分にほぼ独立している場合を考えてみよう。その時、像はスリット１と２でもって走査され、走査された強度I_1（Ｘ）≡I_1及びI_2（Ｘ）≡I_2は空間像のＴＭ及びＴＥの偏光成分の項で以下の如く書くことができる。

【数１】

$$I_1 = \epsilon^1_{TE} I_{TE} + \epsilon^1_{TM} I_{TM}$$

$$I_2 = \epsilon^2_{TE} I_{TE} + \epsilon^2_{TM} I_{TM}$$

ここで

【数２】

$$\epsilon^1_{TE}$$

【数３】

$$\epsilon^1_{TM}$$

【数４】

$$\epsilon^2_{TE}$$

【数５】

$$\epsilon^2_{TM}$$

はスリット１と２とに対する透過率に依存する偏光である。２つの偏光状態I_{TE}とI_{T}

$_M$とに対する強度は上記２つの式を解くことによって得られる。

【００３６】

偏光依存性が空間周波数Ｆとともに変化するとき、コヒーレント照明の場合に対して以下の関数が得られる。測定された強度I_1（ｆ）及びI_2（ｆ）とのフーリエ変換は２つのスリットの２つの偏光成分に対するＭＴＦと空間像の周波数スペクトルのＴＥとＴＭ成分の項で以下のように書き表すことができる。

【数６】

$$I_1(f) = MTF^1_{TE}(f)\,I_{TE}(f) + MTF^1_{TM}(f)\,I_{TM}(f)$$

$$I_2(f) = MTF^2_{TE}(f)\,I_{TE}(f) + MTF^2_{TM}(f)\,I_{TM}(f)$$

I_{TE}（ｆ）とI_{TM}（ｆ）を解きかつフーリエ変換をすると２つの偏光状態I_{TE}（ｘ）とI_{TM}（ｘ）とに対する空間像を作り出す。これらの作業によりある程度の誤差が導入される。しかしながら、もし２つの偏光状態の空間周波数依存性があまりにも異なっていないとすれば、誤差は小さいものとなる。

【００３７】

部分的なコヒーレンスの場合に対して、ＭＴＦは一般には定義することができない。しかしながら、上述の線状パターンの如きある特殊なパターンに対しては、ＭＴＦのように作用する量を規定することができる。こうして、上記式に類似の関係が書くことができ、そしてこれらの式はI_{TE}とI_{TM}とに対して解くことができる。

【００３８】

図１７はスリット長１０μｍと１ｃｍ^2　あたり１００ｍＷの照明強度とを仮定して、スリットからの透過パワーを示している。信号レベルはほぼ10^{-10}　乃至10^{-9}ワットである。

【００３９】

図１８は数多くの仮定に基づいて信号対ノイズ比（Ｓ／Ｎ）の計算値を示している。３０％の収集効率（ＣＯＬＬＥＣＴＩＯＮ　効率）が使用された。２４８ｎｍのフォトンに応答するディテクタが使用された。１００ヘルツの周波数帯域に対し、そしてボルト当たり１００ナノアンプの感度で入力ノイズ因子２．２×10^{-11}　アンプをもつプリアンプが接続されている利得10^{-6}で量子効率２０％の光増倍器が仮定された。非常に高いＳ／Ｎ値がスリットで可能である。

【００４０】

トンネルスリットとドット構造

図１９は本発明の一態様によるトンネルスリット構造を示す。光は方向１９０から頂面に入射する。隆起状の光学的に透明な構造体１９１が蛍光ディテクター１９２の表面に設けてある。この実施例において、基板１９２は実際二つの機能を有している。その一つは基板として隆起状体を載置していることであり、第２はディテクターの一体的な部分としてである。これとは別に、蛍光ディテクターをフォトマルチプライヤーのような深い紫外線にセンシティブなディテクターに２４８ｎｍのフォトンを伝送する光パイプとすることもできる。また別の例では、尾根状の隆起状構造体を蛍光材料で作ることもできる。

【００４１】

構造体は平らな金属膜１９３で覆って、金属１９４の非常に薄い層のみが隆起の最も高い部分をカバーするようにする。これは光が膜の最も薄い部分を通り抜けることを可能にする。この通り抜けは金属の厚さとともに指数的に減少するので、透過率は非常に薄い層に限定される。それゆえ、できるだけこの装置で高い解像力を、達成することができる。

【００４２】

図２０はトンネルスリットの好ましい作り方のフローチャートである。図２１はトンネルスリットの製造の種々段階における結果を図示したものである。図は単一のトンネルスリットを示しているが、この技術は典型的には複数のトンネルスリットを作り出すために実

行される。複数スリットは所望の間隔だけ離すことができ、図４及び図５に示された線に沿って複数スリットの構造体を提供することができ、あるいは更に間隔をおいて数個の単一スリット構造体を製造することができるようにもできる。

【００４３】

第一に、基板は正のフォトレジストの比較的厚い層で覆う（ステップ２０５）。従来のリソグラフィ技術を用いて、典型的には幅約１μｍより小さいかあるいは等しい（典型的には約０．５μｍ幅）及び長さ５μｍあるいはそれ以上（典型的には長さ１０乃至２０μｍ）の狭い一本の線あるいは複数本の線を投影するレチクルを通してフォトレジストを露光する（ステップ２１０）。トレンチ状すなわち溝状の構造体がフォトレジストを露光のちレジストで覆われた基板に残される（ステップ２１５）。次いで、光学的に透明な材料が基板上にデポジットすなわち付着され、それにより溝を埋める（ステップ２２０）。一旦レジストを取り去り（ステップ２２５）、基板はデポジットされた誘電体隆起部とともに放置される。隆起部を丸みづけるためにいくつかの異なった手法を用いることができ、その中にはサーマルアニーリングや反応イオンエッチング（ＲＩＥ）や化学エッチング等が含まれる。隆起部が適切に成形された後、金属膜がデポジットされる（ステップ２４０）。金属膜は続いて好ましくはエッチング法を用いて金属厚が隆起部の最も高い部分で測定されて適用可能な設計波長よりもずっと少なくなるまで平滑化され且つ薄くされる（ステップ２５０）。

【００４４】

図２２は製造工程を更に単純化する事のできる別の方法による種々の段階の結果を図示したものである。図２２は以下の記載を例示している。図２１（すなわちステップ２０５－２３０）において上述したのと同様な半導体製造法を用いて、尾根状部の列が基板上に作られる。この場合材料は光学的に透明である必要はない。銀の非常に薄い層がスパッタリングにより付与され、そして次にニッケル槽内に浸積により付与される。次いで厚い金属膜が基板と隆起構造体から分離される。この金属膜はそれから「マスター」として作用し、圧縮成形、射出成形、又は光重合によってさらに付加的なトンネルスリット構造体を作ることができる。ガラスやプラスチックを成形することも可能である。結果は透明の基板上に一体に形成された透明な隆起部列である。そののち、金属膜が付着され、そして上述した如き（ステップ２４０及び２５０）平滑化される。隆起部を成形する工程は基本的には光学的なコンパクトディスクを製造する際に使用する方法と同じである。光学的コンパクトディスクの特徴は深さ及び大きさにおいてサブミクロンの程度であり、こうしてこの方法を使用することができトンネルスリットのコストを著しく安くすることができる。

【００４５】

上述した基本的な特性及び製造方法はまたあらゆる横方向にサブミクロンオーダーの寸法をもつ構造体に適用することができる。そのような構造体は「トンネルドット」と呼ぶことができ、サブミクロン程度の丸い孔と同様な特性を持つことが期待される。その透過率はおそらく極めて小さいけれども、その比較的単純性及び組立の容易性は「点」ディテクターあるいは光源を必要とする用途に有利でありうる。実際図２０、図２１、図２２はトンネルスリットと同様にトンネルドットの製造法を示したものと考えることができる。

【００４６】

図２３は幅０．５μｍ及び高さ１μｍのパラボラ状の断面のトンネルスリットを通る透過率Ｔ（ｘ）の計算値である。この構造体の透過率は全幅が５０ｎｍよりも小さいスリットにおおよそ等価である。トンネルスリットＺ（ｘ）の形状は、使用されるディメンション変数が図２４に規定されており、このプロット上に重ねる合わされる。図２５は三角形の断面のトンネルスリットを通る透過率の計算値であり、ここでこの三角形状断面の幅と高さは上述したパラボラ状断面（図２５に重ねられたトンネルスリット形状）のそれと同じである。この場合、トンネルスリットは１０ｎｍ幅よりも小さな透過率プロファイルを有している。ディメンション変数は図２６に規定されている。透過率は金属の最も薄い層の厚さZ_0に依存する。この厚さは、全体の透過率に影響するけれども、横解像力に影響しない。これらのデータは従来のリソグラフィを使用して非常に高い解像度のトンネルスリ

ットを製造できることを示している。従来のスリットに同等な解像力は極端に狭いスリット幅を必要とし、これは製造がより困難である。これらの計算値は回折効果を無視している単純光線光学モデルに基づいている。しかしながら、基本的な特性は解析的な導波モデルに基づく厳密な計算によって確認される。

【００４７】

図２７はトンネルスリットに対するＭＴＦを示している。高空間周波数でのこれらの応答性は優れており通常のスリットに対してよりもはるかに高い。

パラボラ状トンネルスリットを通る透過率はＴＭモードに対して１．３４×１０$^{-4}$、ＴＥモードに対して７．９６×１０$^{-4}$であることが計算される。これらの値は従来のスリットにおいて示されたものよりも小さい。しかしながら、図５に示されたより狭いスリットに対しての透過率の減少を与えると、トンネルスリットのＭＴＦに合うに十分に狭い従来スリットはおそらく比較しうる透過率を持つであろう。ＴＥモードの透過率はＴＭモードのそれを上まわり、これは従来のスリットの作用と反対であることを注記する。

【００４８】

空間像パフォーマンス

以下の表１は照明及び投影レンズ特性の所与の条件に対する空間像へのスリットの応答性のシュミレーションを要約したものである。以下の結果は全て開口数ＮＡ＝０．６及び波長２４８ｎｍで、σ＝０．５の下で計算したものである。ここでσはコヒーレンスファクターであり：

σ＝（レチクルでの開口数ＮＡ）／（ウェハーでの開口数ＮＡ）

レンズは収差がないものと仮定されている。スリット像はポインティングベクトルＥ×Ｂの前方成分（ｆｏｒｗａｒｄ　ｃｏｍｐｏｎｅｎｔ）　の平方に比例する。ここでＥ、Ｂとはそれぞれ像の電場及び磁場である。しかしながら、空間像は、フォトレジストの露光がＥ×Ｂによってよりはｅの２乗によってより決定される故に、電場ベクトルの平方E^2　によって表される。これは、これらの二つの表現形式により作り出される像が、以下に示すように同一ではないために、スリット像と空間像と比較する際に幾分かの不一致もしくは不調和をもたらす。

【００４９】

５０、１００、１５０、２００ｎｍの垂直壁スリットをもつ１２０ｎｍ厚のＭｏ金属膜に対して及び５０ｎｍのＶ字状スリットに対して、パラボラ状及び三角形状のトンネルスリットに対しての結果が与えられる。ＭＴＦ曲線からより狭いスリットとトンネルスリットに対して空間像とスリット像との間の良好な一致が期待されたかもしれないが、しかしこれはそうではない。その理由は上に与えられている、すなわち空間像強度E^2　はＥ×Ｂに対するそれとは異なるからである。１つの結果は、スリット像がしばしばE^2　によって表される空間像よりも幅が狭いという驚くべき結果であるということである。

表において、Ｗｓｌｉｔはスリット像幅（Ｅ×Ｂ）を示しており、ＷＡ，E^2　は空間像幅（E^2　）を示しており、そしてＷＡ，ＥｘＢ　は空間像幅（Ｅ×Ｂ）を示している。

【表１】

表１

スリット形状	TEM	TMM
1.三角形トンネルスリット	$W_{slit} = W_{A,ExB} \approx W_{A,E^2}$	$W_{slit} \approx W_{A,ExB} < W_{A,E^2}$
2. パラボラ状トンネルスリット	$W_{slit} \approx W_{A,E^2} \approx W_{A,ExB}$	$W_{slit} \approx W_{A,ExB} < W_{A,E^2}$
3. ５０ｎｍ垂直壁スリット	$W_{slit} \approx W_{A,E^2} \approx W_{A,ExB}$	$W_{slit} \approx W_{A,ExB} < W_{A,E^2}$
4. １００ｎｍ垂直壁スリット	$W_{slit} \approx W_{A,E^2} \approx W_{A,ExB}$	$W_{slit} \approx W_{A,ExB} < W_{A,E^2}$
5. １５０ｎｍ垂直壁スリット	$W_{slit} \approx W_{A,E^2} \approx W_{A,ExB}$	$W_{slit} \approx W_{A,E^2} > W_{A,ExB}$
6. ２００ｎｍ垂直壁スリット	$W_{slit} > W_{A,E^2} \approx W_{A,ExB}$	$W_{slit} > W_{A,E^2} > W_{A,ExB}$
7. ５０ｎｍＶ字形スリット	$W_{slit} > W_{A,E^2} \approx W_{A,ExB}$	$W_{slit} \approx W_{A,E^2} > W_{A,ExB}$

最初の４つの場合において、スリットは空間像（Ｅ×Ｂ）を再生するのに適当な解像力を持っている。ＴＥＭの場合において、それは又第１の５つの場合においてE^2　の像をほぼ再生する。ＴＭＭの場合において、E^2　の空間像はより狭いスリットに対してのＥ×Ｂの像よりも小さいが、しかし場合５、６、７に対しては大きくなる。こうして、垂直壁スリット幅１００ｎｍと１５０ｎｍとの間のどこかに　Ｗｓｌｉｔ＝WA，E^2　が期待することができる。５０ｎｍのＶ字状スリットは２００ｎｍの垂直壁スリットの場合に幾分類似しているが、これはスリット構造体のより薄い部分を通り抜ける故である。

【００５０】

表１に示されたデータにより、幅１５０ｎｍの垂直壁スリットは偏光依存性が少なく、且つ空間像幅と測定された像幅との間の一致性が５％以内で理想的なディテクターに近いことを示している。

【００５１】

トンネルスリットもしくはトンネルドットの他の応用例

トンネルスリットについての製造の容易性及び非常に高いＭＴＦは他の用途をも示唆している。一次元的なスリットの幾何学的形状は所与の方向に非常に正確に距離を測定するのに設計された顕微鏡を測定するために好適である。一例としては、リソグラフィのマスクあるいは半導体ウェハー上で非常に精密に線幅を測定するためのシステムである。それは又高密度の光学ディスクや光磁気ディスクへの検出センサーとしての適用も考えられる。

【００５２】

また別の応用例としては薄いフォトレジスト層内にサブミクロン程度のパターンを作り出すための非常に局所化された光源としてのトンネルスリットを使うことである。この場合、光はトンネルスリットの基板側に提供され、そして光の幾分かが金属膜が最も薄くなる部分を通り抜ける。スリット表面に非常に近接して置かれたフォトレジスト膜は第１に金属膜を通り抜けることが識別できる区域に相応する領域にわたって露光されることになる。こうしてサブミクロン程度のパターンの露光が可能となる。トンネルスリットを通り抜ける光の透過率は小さいことが期待されるけれども、トンネルスリットの単純性とコスト性とは他のフォトリソグラフィックな方法よりもいくつかの応用分野においては有利さを与えることになる。

【００５３】

結論

結論として、本発明は光学システムにより作られた空間像にわたってサブ波長スリットを走査することにより該光学システムの作動を解析するための効果的な手法を提供する。

【００５４】

当業者には容易に理解されるように、本発明の精神を逸脱することなく、他の特定の形態にも実施することができる。例えば、ここに開示された装置及び方法はレーザ走査システムの強度プロファイルを分析するために使用することができる。従って、本発明の好まし

い実施例についての開示はあくまでも例示的なものであり、特許請求の範囲に記載の発明の範囲を限定するためのものではない。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の空間像アナライザーを利用した光学的投影リソグラフィステッパー装置を示す概略図。

【図２】ステッパーの光学的作用を測定するための一手段として、本発明の一実施例の使用例を示す図。

【図３】特別のテストパターンの一例を示す図。

【図４】数本の平行な線状像の同時的計測を示す図。

【図５】光パイプとフォトマルチプライヤーを利用する別の実施例を示す図。

【図６】解析的な導波路モデルの示す図。

【図７】スリット壁が平行で且つ垂直であるスリット用の透過率対膜厚をプロットしたグラフを示す図。

【図８】（ａ）、（ｂ）、（ｃ）は他のスリット形状を示す図。

【図９】５０ｎｍ、１００ｎｍ及び２００ｎｍのスリット幅を持つＶ字状スリットに対する透過率対膜厚をプロットしたグラフを示す図。

【図１０】５０ｎｍ、１００ｎｍ及び２００ｎｍのスリット幅を持つ逆Ｖ字状スリットに対する透過率対膜厚をプロットしたグラフを示す図。

【図１１】５０ｎｍ、１００ｎｍ及び２００ｎｍのスリット幅に対する信号対背景比対膜厚を示す図。

【図１２】垂直側壁の場合に対する透過信号におけるＴＭ偏光の割合を示す図。

【図１３】Ｖ字状スリットに対するＴＭ偏光の度合い対膜厚を示す図。

【図１４】Ｖ字状スリットに対するＴＭ偏光対スリット幅を示す図。

【図１５】５０ｎｍ、１００ｎｍ及び２００ｎｍのスリット幅とＭｏ膜厚１２０ｎｍとを有するＶ字状スリットに対する変調伝達関数（ＭＴＦ）を示す図。

【図１６】ＴＥ　ＭＴＦ及びＴＭ　ＭＴＦがほとんど同じである条件を示す図。

【図１７】スリット長１０μｍ及び１平方センチメートル当たり照明強度１００ｍＷをとるスリットからの透過力を示す図。

【図１８】信号対ノイズ比（Ｓ／Ｍ）の計算値を示す図。

【図１９】トンネルスリットの模式図。

【図２０】トンネルスリットの好ましい製造方法を示す図。

【図２１】トンネルスリットの好ましい製造方法を示す図。

【図２２】トンネルスリットの好ましい製造方法を示す図。

【図２３】パラボラ状トンネルスリットを通り抜ける透過率の計算値を示す図。

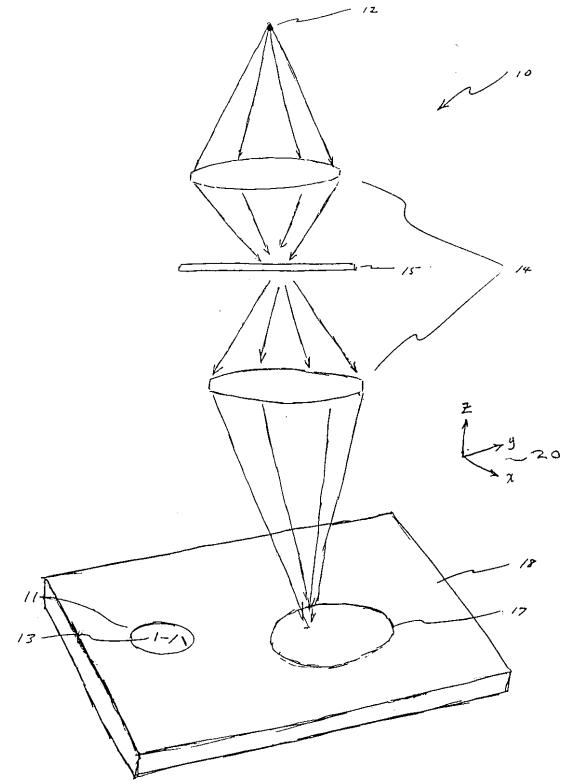
【図２４】図２３に使用されたディメンション変数を示す図。

【図２５】三角形状（又は逆Ｖ字状）のトンネルスリットを通り抜ける透過率の計算値を示す図。

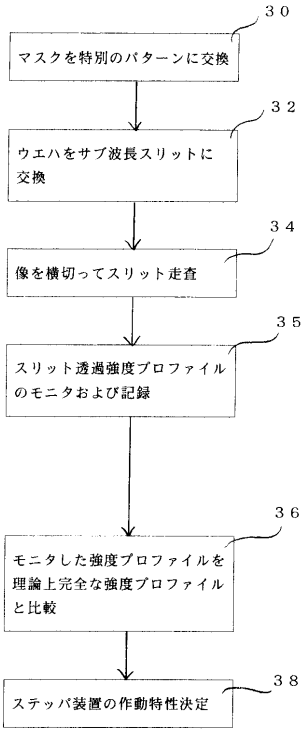
【図２６】図２５において使用されたディメンション変数を示す図。

【図２７】トンネルスリットに対するＭＴＦ示す図。

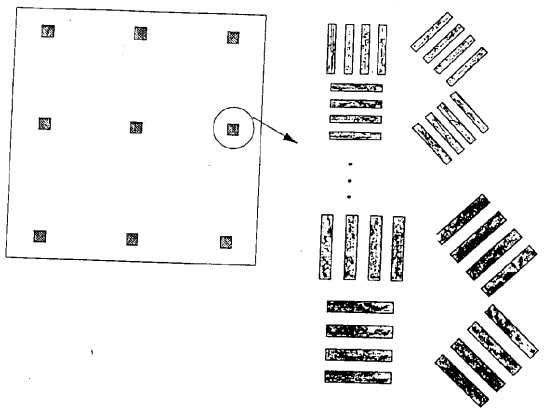
【図１】



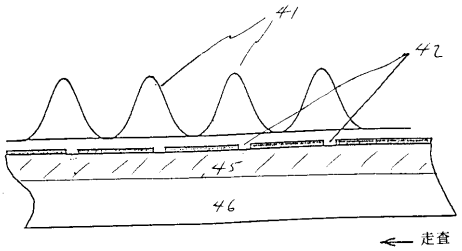
【図２】



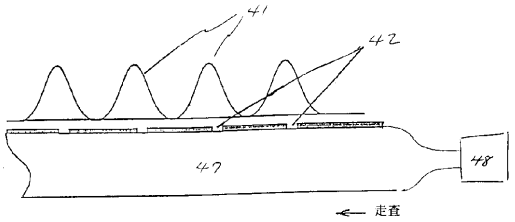
【図３】



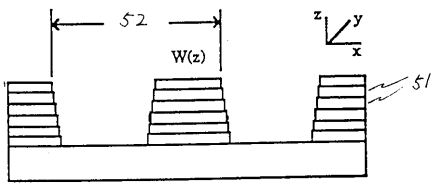
【図４】



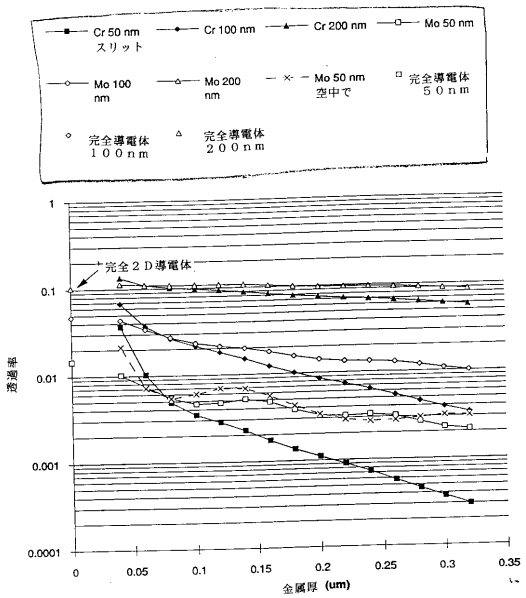
【図５】



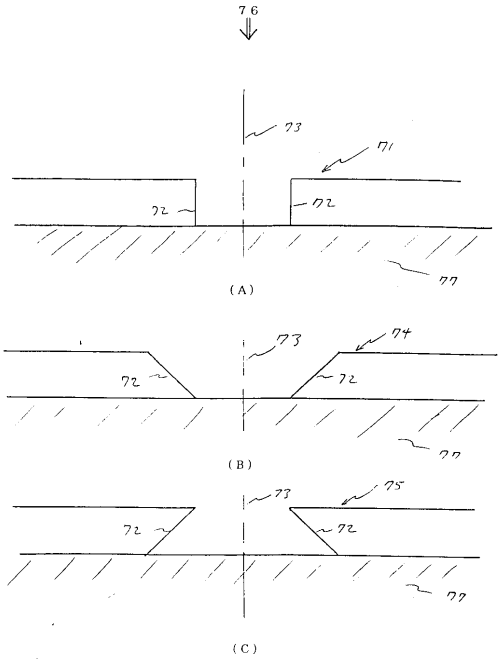
【図６】



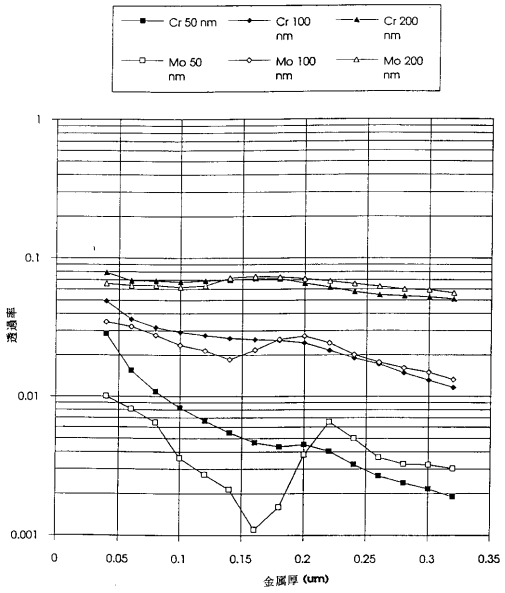
【図７】


Cr 50 nm スリット
Cr 100 nm
Cr 200 nm
Mo 50 nm
Mo 100 nm
Mo 200 nm
Mo 50 nm 空中で
完全導電体 ５０ｎｍ
完全導電体 １００ｎｍ
完全導電体 ２００ｎｍ
完全２Ｄ導電体
透過率
金属厚 (um)

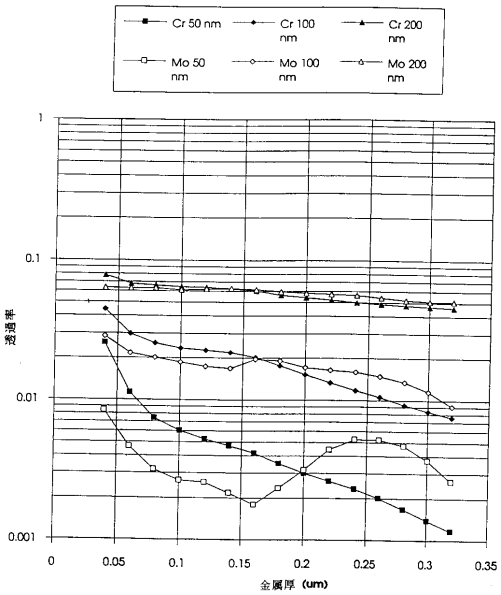
【図８】


76
73
71
72
72
77
(A)
73
74
72
72
77
(B)
73
75
72
72
77
(C)

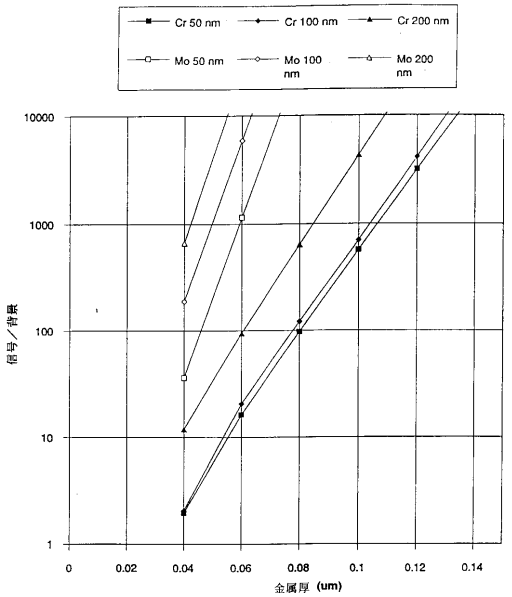
【図９】


Cr 50 nm
Cr 100 nm
Cr 200 nm
Mo 50 nm
Mo 100 nm
Mo 200 nm
透過率
金属厚 (um)

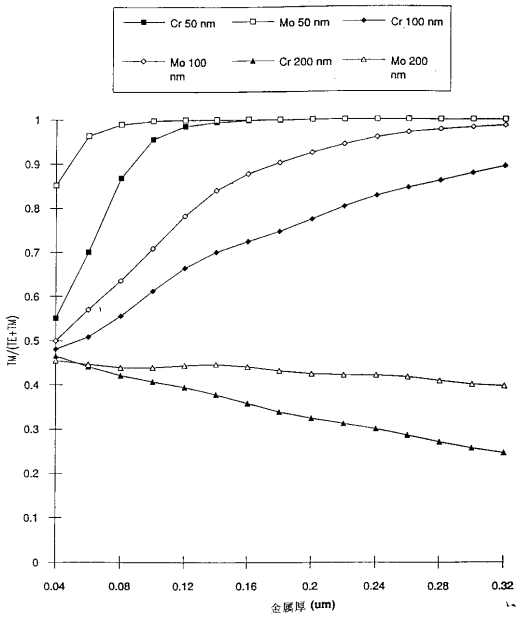
【図１０】


Cr 50 nm
Cr 100 nm
Cr 200 nm
Mo 50 nm
Mo 100 nm
Mo 200 nm
透過率
金属厚 (um)

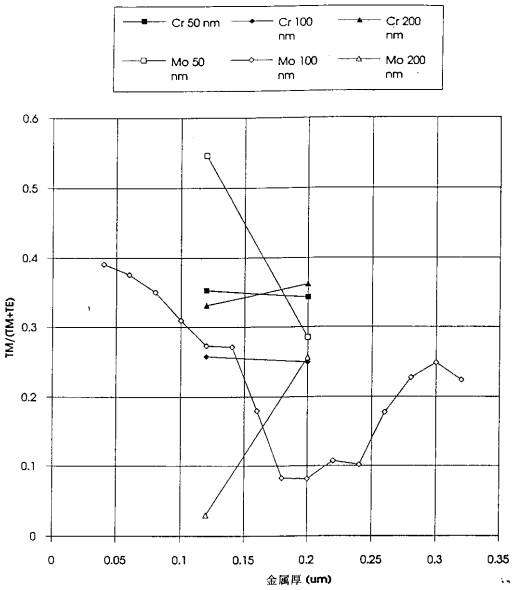
【図１１】



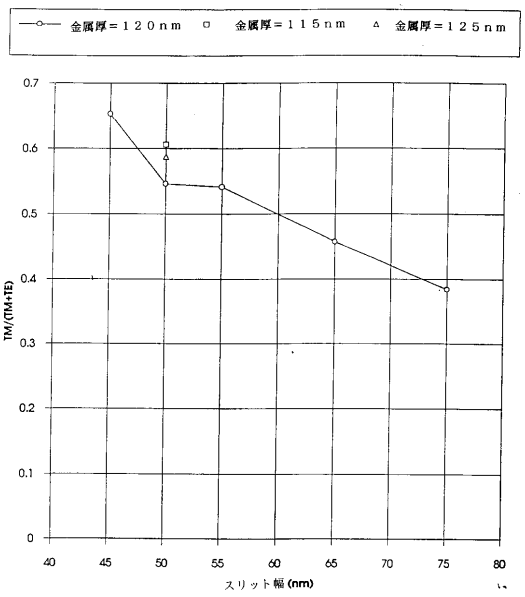
【図１２】



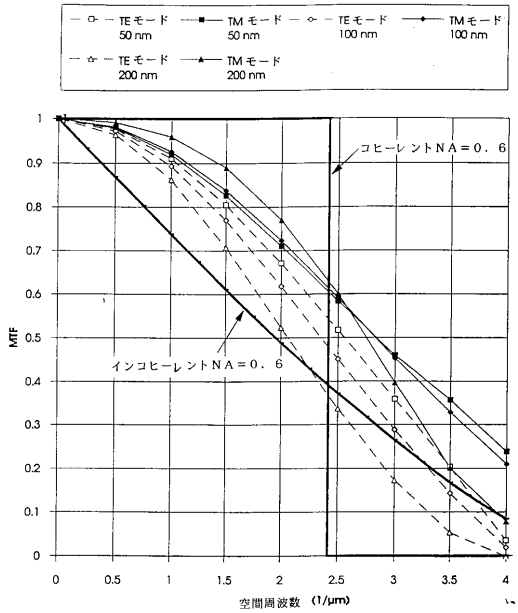
【図１３】



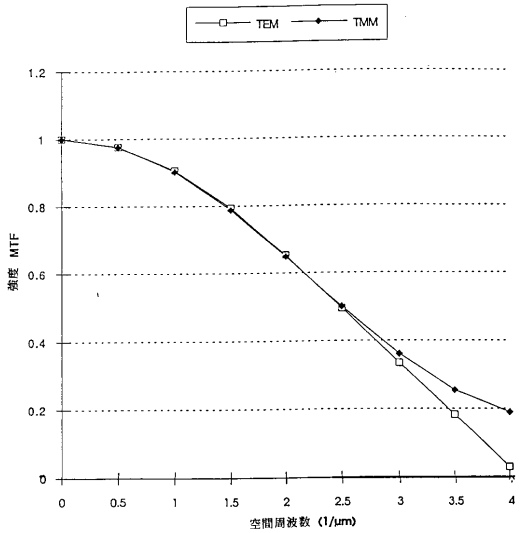
【図１４】



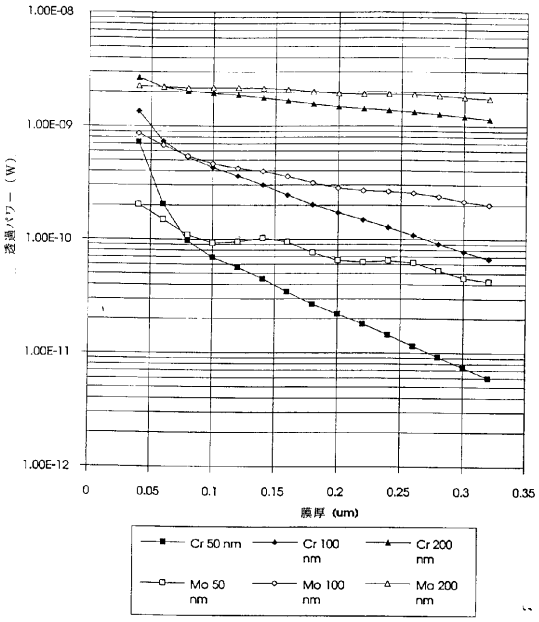
【図１５】



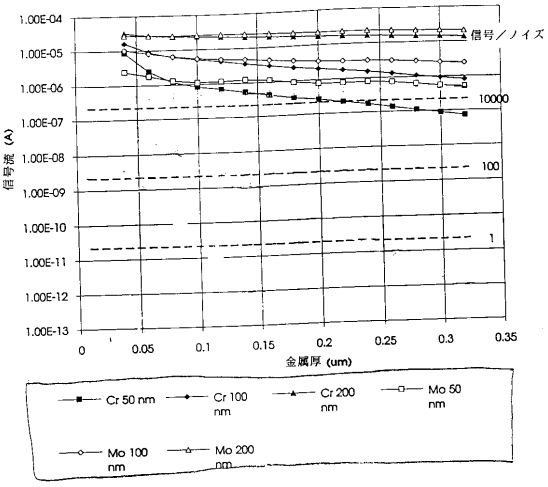
【図１６】



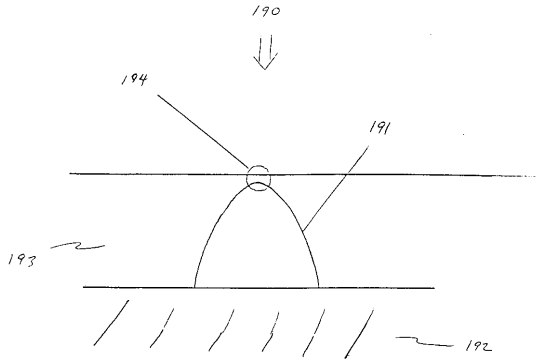
【図１７】



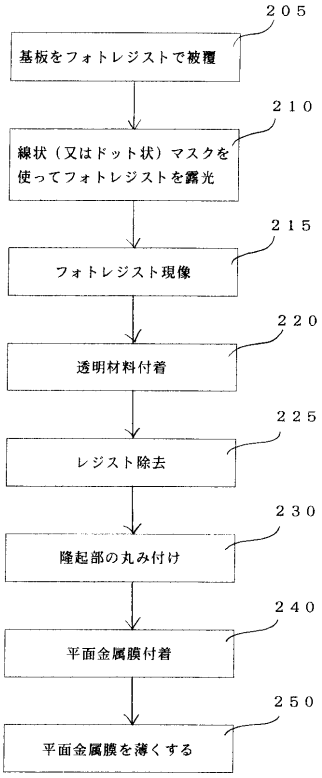
【図１８】



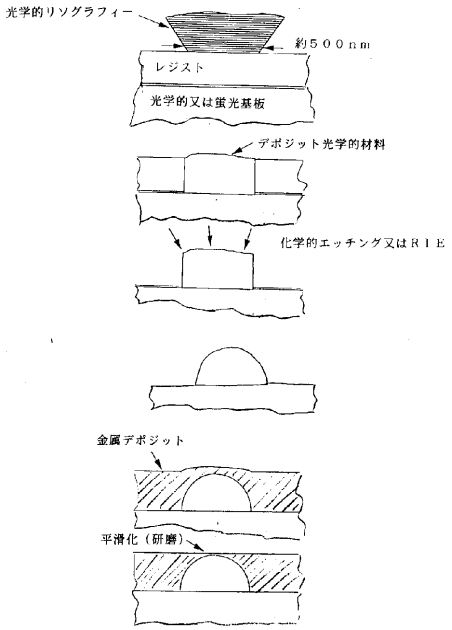
【図１９】



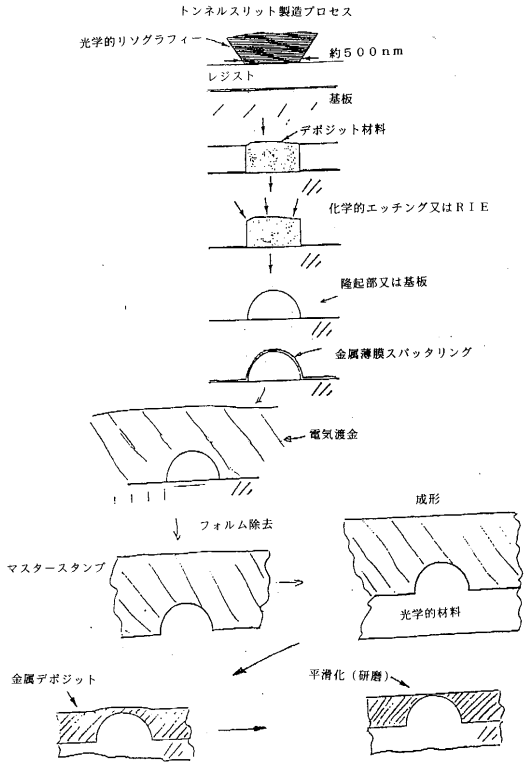
【図２０】



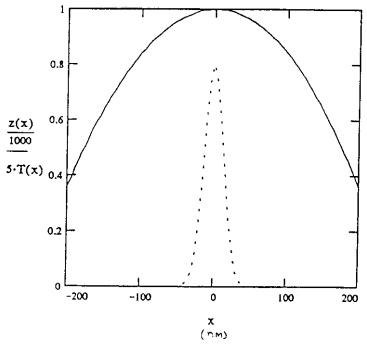
【図２１】



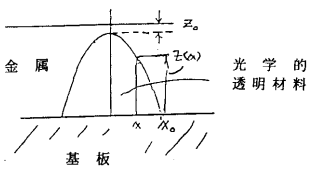
【図２２】



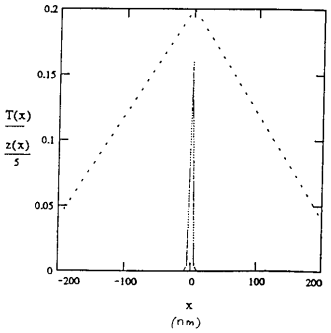
【図２３】



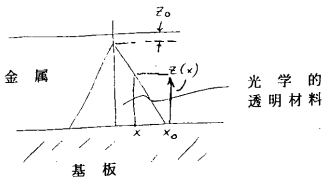
【図２４】



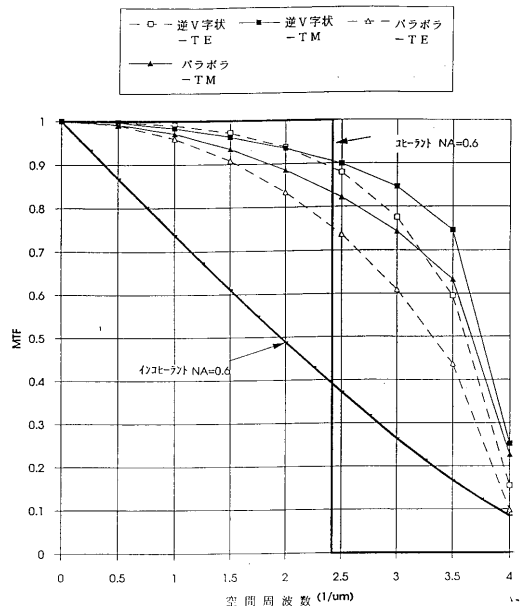
【図２５】



【図２６】



【図２７】



フロントページの続き

(72)発明者　マイケル　アール.　ソガード
アメリカ合衆国. ９４０２５　カリフォルニア, メンロパーク, プラシタス　アヴェニュー　８５１６

審査官　岩本　勉

(56)参考文献　特開平０４－３１３０４２（ＪＰ, Ａ）
特開平０３－０６５６２３（ＪＰ, Ａ）
特開昭６３－０９２０１９（ＪＰ, Ａ）
特開平０７－１４００３９（ＪＰ, Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7], ＤＢ名)
H01L 21/027
G03F 7/20