

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-505312  
(P2004-505312A)

(43) 公表日 平成16年2月19日(2004.2.19)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
G02B 21/00

F I  
G02B 21/00

テーマコード(参考)  
2H052

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 65 頁)

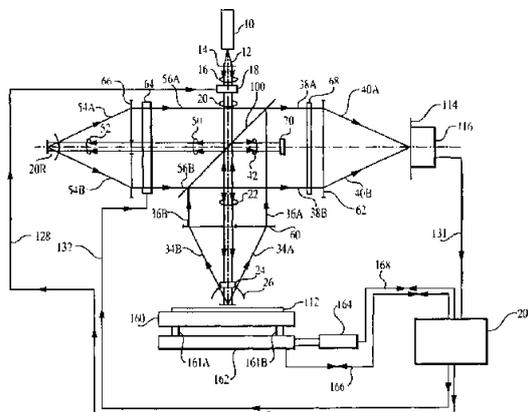
<p>(21) 出願番号 特願2002-515498 (P2002-515498)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成13年7月27日 (2001.7.27)</p> <p>(85) 翻訳文提出日 平成15年1月27日 (2003.1.27)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/US2001/023656</p> <p>(87) 国際公開番号 W02002/010828</p> <p>(87) 国際公開日 平成14年2月7日 (2002.2.7)</p> <p>(31) 優先権主張番号 60/221, 287</p> <p>(32) 優先日 平成12年7月27日 (2000.7.27)</p> <p>(33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(71) 出願人 500555882 ゼテティック・インスティテュート アメリカ合衆国アリゾナ州85719, ト ゥーソン, イースト・エイティーンズ・ス トリート 1665, スイート 206</p> <p>(74) 代理人 100068755 弁理士 恩田 博宣</p> <p>(74) 代理人 100105957 弁理士 恩田 誠</p> <p>(72) 発明者 ヒル、ヘンリー アレン アメリカ合衆国 85716 アリゾナ州 ツーソン エス. アベニダ デ パルマ ス 340</p> <p>Fターム(参考) 2H052 AA04 AF02 AF14</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 近距離場顕微鏡検査におけるサブ波長アパチャ・アレイの位置および方向の制御

(57) 【要約】

サブ波長アパチャのアレイを有するマスクを使用して近距離場プローブ・ビームをサンプルに結合する、近距離場干渉顕微鏡検査のためのシステムおよび方法を開示する。マスクの周囲は、マスクとサンプルの間の相対距離を示す干渉信号のベースとなる光をサンプルに結合させる、より大きい1つまたは複数のアパチャをさらに含む。干渉信号は、サンプルに対してマスクを動的に配置するサーボ・システムにおける制御信号のベースとなりうる。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

オブジェクトを撮像するための干渉光学顕微鏡検査システムであって、  
入力ビームを測定ビームと参照ビームに分割するように配置されたビーム・スプリッタと

；  
測定ビームを受け取るように配置された測定ビーム光源アレイであって、複数の測定アパ  
チャのアレイと、測定アパチャの 1 つに近接する制御アパチャとを有するマスクを含み、  
制御アパチャの横断寸法は、近接する測定アパチャの横断寸法よりも大きく、各測定アパ  
チャおよび制御アパチャは、測定ビームの一部をオブジェクトに放射するように構成され、  
オブジェクトは、放射された測定ビームの部分と相互作用して、測定アパチャを介して

10

信号放射線を戻す方向に向けて測定戻りビームを定める、測定ビーム光源アレイと；  
制御アパチャの横断寸法は、制御アパチャに近接する測定アパチャを介して戻す方向に向  
けられた信号放射線よりも制御アパチャから来た放射線が支配的になっていることと；  
参照ビームを受け取るように配置された参照ビーム光源アレイであって、参照ビームの一  
部を放射するように各々が構成された複数の素子のアレイを含み、放射された参照ビーム  
の部分が参照戻りビームを定める、参照ビーム光源アレイと；

マルチ素子光検出器と；

測定および参照戻りビームを光検出器に誘導するように配置され、参照素子のアレイと測  
定アパチャのアレイとの重複複合画像を光検出器上に生成するように構成された撮像光学  
系であって、各測定アパチャに対する複合画像は、対応する参照素子の複合画像と重なっ  
て、オブジェクトの特定領域を示す光干渉信号を生成する、撮像光学系と；を備えたシス  
テム。

20

## 【請求項 2】

測定ビーム光源アレイに対してオブジェクトを支持する位置決めシステムと；  
光検出器および位置決めシステムに結合される電子コントローラであって、動作時に、位  
置決めシステムに、制御アパチャに近接する測定アパチャに対応する干渉信号から誘導さ  
れた制御信号に応答して、測定ビーム光源アレイとオブジェクトの間の分離度を調節させ  
る電子コントローラと；をさらに含む、請求項 1 に記載のシステム。

## 【請求項 3】

制御アパチャは測定アパチャのアレイの周囲に配置される、請求項 1 に記載のシステム。

30

## 【請求項 4】

マスクは、それぞれ測定アパチャの 1 つに近接し、対応する近接測定アパチャの横断寸法  
より大きい横断寸法を各々が有する複数の制御アパチャを備える、請求項 1 に記載のシス  
テム。

## 【請求項 5】

複数の制御アパチャは測定アパチャのアレイの周囲を囲む、請求項 4 に記載のシステム。

## 【請求項 6】

入力ビームを供給するための光源をさらに備えた、請求項 1 に記載のシステム。

## 【請求項 7】

測定アパチャの各々は、光源により供給される入力ビームの真空波長より小さい横断寸法  
を有する、請求項 6 に記載のシステム。

40

## 【請求項 8】

制御アパチャは、入力ビームの真空波長に等しい横断寸法を有する、請求項 6 に記載のシ  
ステム。

## 【請求項 9】

制御アパチャに近接する測定アパチャ以外の各測定アパチャのオブジェクトに近接する末  
端を、第 1 の共通平面に配置し、制御アパチャおよび制御アパチャに近接する測定アパ  
チャの各々のオブジェクトに近接する末端を、第 1 の共通平面に対してずらして配置した、  
請求項 3 に記載のシステム。

## 【請求項 10】

50

制御アパチャおよび制御アパチャに近接する測定アパチャの末端を、第1の共通平面に平行な第2の共通平面に配置した、請求項9に記載のシステム。

【請求項11】

入力ビームを供給する光源をさらに備え、入力ビームは波長を有し、第1の共通平面を該波長の約2倍に相当する分だけ第2の共通平面からずらして配置した、請求項10に記載のシステム。

【請求項12】

光検出器に近接して配置されるピンホール・アレイをさらに備え、各ピンホールは1つまたは複数の検出器素子の個別的セットと位置を合わせて配置され、撮像システムは、各測定アパチャに対する複合画像の位置をピンホール・アレイの対応するピンホールに合わせる、請求項1に記載のシステム。

10

【請求項13】

測定ビーム光源アレイにおけるマスクは測定散乱素子のアレイをさらに含み、各測定散乱素子は測定アパチャのうちの対応する1つのアパチャに近接し、対応する測定アパチャに匹敵する横断寸法を有し、各測定散乱素子は測定ビームの一部を散乱させ、測定戻りビームは、測定散乱素子によって散乱した測定ビームの部分をさらに含み、撮像光学系は、参照素子のアレイの複合画像に重なる測定散乱素子のアレイの複合画像を生成するように構成され、各測定散乱素子に対する複合画像は対応する参照素子の複合画像に重なって、近接測定アパチャからの散乱を示す光干渉信号を生成する、請求項1に記載のシステム。

20

【請求項14】

制御アパチャを測定アパチャのアレイの周囲に配置し、制御アパチャに近接する測定アパチャと制御アパチャに近接する測定アパチャに近接する測定散乱素子以外の、各測定アパチャおよび各測定散乱素子のオブジェクトに近接する末端を第1の共通平面に配置し、制御アパチャ、制御アパチャに近接する測定アパチャ、および制御アパチャに近接する測定アパチャに近接する測定散乱サイトの各々のオブジェクトに近接する末端を第1の共通平面に対してずらして配置した、請求項13に記載のシステム。

【請求項15】

制御アパチャおよび制御アパチャに近接する測定アパチャの末端を、第1の共通平面に平行な第2の共通平面に配置した、請求項14に記載のシステム。

30

【請求項16】

入力ビームを供給する光源をさらに備え、入力ビームは波長を有し、第1の共通平面を該波長の約2倍に相当する分だけ第2の共通平面からずらして配置した、請求項15に記載のシステム。

【請求項17】

測定ビーム光源アレイに対してオブジェクトを支持するための位置決めシステムと；光検出器および位置決めシステムに結合された電子コントローラであって、動作時に、位置決めシステムに、制御アパチャに近接する測定アパチャに対応する干渉信号および制御アパチャに近接する測定アパチャに近接する測定散乱サイトに対応する干渉信号から誘導される制御信号に応答して、測定ビーム光源アレイとオブジェクトの間の分離度を調節させる電子コントローラと；をさらに備えた、請求項13に記載のシステム。

40

【請求項18】

光検出器に近接して配置されるピンホール・アレイをさらに備え、各ピンホールは1つまたは複数の検出器素子の個別的セットと位置を合わせて配置され、撮像システムは、各測定アパチャおよび各測定散乱素子に対する複合画像の位置をピンホール・アレイの対応するピンホールに合わせる、請求項13に記載のシステム。

【請求項19】

各参照素子は反射要素を含む、請求項1に記載のシステム。

【請求項20】

各参照素子は透過アパチャを含む、請求項1に記載のシステム。

50

## 【請求項 2 1】

オブジェクトを照明するための光源アレイであって、測定ビームを受け取るように配置されたマスクであって、光源アパチャのアレイと、光源アパチャの 1 つに近接した制御アパチャとを有し、制御アパチャの横断寸法は近接光源アパチャの横断寸法より大きく、各光源アパチャおよび制御アパチャは、測定ビームの一部をオブジェクトに放射するように構成され、オブジェクトは、制御アパチャから放射された測定ビームの部分と相互作用し、制御アパチャに近接する光源アパチャを介して制御信号放射線を戻す方向に向ける、マスクを備えた光源アレイ。

## 【請求項 2 2】

オブジェクトを照明するためのシステムであって、  
請求項 2 1 に記載の光源アレイと；  
光源アレイに対してオブジェクトを支持するための位置決めシステムと、  
位置決めシステムに結合される電子コントローラであって、動作時に、位置決めシステムに、制御信号放射線から誘導された干渉信号に基づく制御信号に応答して、測定ビーム光源アレイとオブジェクトの間の分離度を調節させる電子コントローラと；を備えたシステム。

10

## 【請求項 2 3】

制御アパチャを光源アパチャのアレイの周囲に配置した、請求項 2 1 に記載の光源アレイ。

## 【請求項 2 4】

マスクは、それぞれ光源アパチャの 1 つに近接する複数の制御アパチャを備え、各制御アパチャの横断寸法は、対応する近接光源アパチャの横断寸法より大きい、請求項 2 1 に記載の光源アレイ。

20

## 【請求項 2 5】

複数の制御アパチャは光源アパチャのアレイの周囲を囲む、請求項 2 4 に記載の光源アレイ。

## 【請求項 2 6】

測定ビームを供給するための光源をさらに備えた、請求項 2 1 に記載の光源アレイ。

## 【請求項 2 7】

光源アパチャの各々は、光源により供給される測定ビームの真空波長より小さい横断寸法を有する、請求項 2 6 に記載の光源アレイ。

30

## 【請求項 2 8】

制御アパチャは、入力ビームの真空波長より大きいかそれと等しい横断寸法を有する、請求項 2 6 に記載の光源アレイ。

## 【請求項 2 9】

制御アパチャに近接する光源アパチャ以外の各光源アパチャのオブジェクトに近接する末端を、第 1 の共通表面に配置し、制御アパチャおよび制御アパチャに近接する各光源アパチャのオブジェクトに近接する末端を、第 1 の共通平面に対してずらして配置した、請求項 2 3 に記載の光源アレイ。

## 【請求項 3 0】

制御アパチャおよび制御アパチャに近接する光源アパチャの末端を第 1 の共通平面に平行な第 2 の共通平面に配置した、請求項 2 9 に記載の光源アレイ。

40

## 【請求項 3 1】

マスクは光源散乱素子のアレイをさらに含み、各光源散乱素子は、光源アパチャのうちの対応する 1 つのアパチャに近接し、対応する光源アパチャに匹敵する横断寸法を有する、請求項 2 1 に記載の光源アレイ。

## 【請求項 3 2】

複数の光源でオブジェクトを照明する方法であって、  
複数の光源アパチャのアレイと、光源アパチャの各々の横断寸法より大きい横断寸法を有する制御アパチャとを有するマスクを、オブジェクトに近接させて配置する工程と；

50

放射線をマスクに向けて、各光源アパチャおよび制御アパチャに放射線の一部をオブジェクトに対して放射させる工程と；

制御アパチャからオブジェクトに向けられた放射線から誘導される光干渉信号を生成する工程と；

光干渉信号から誘導される制御信号に応答して、オブジェクトに対してマスクの位置を再配置する工程と；から成る方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(関連出願に対する相互参照)

本出願は、その内容を本願に引用して援用する、2000年7月27日に出願された「近距離場走査顕微鏡検査におけるサブ波長アパチャ・アレイの位置および方向の制御 (Control of Position and Orientation of Sub-Wavelength Aperture Array in Near-field Scanning Microscopy)」という発明の名称の仮出願第60/221,287号(ヘンリー エー ヒル(Henry A. Hill))の優先権を主張するものである。

【0002】

(背景)

本発明は、半導体、データ記憶装置、ならびに生物学的材料、構造体およびデバイスの光学的撮像および計測に関する。

近距離場走査プローブは、典型的にはサンプルに近接して配置されるサブ波長アパチャであり、このようにしてオブジェクト平面におけるサブ波長の空間分解能が得られる。近距離場顕微鏡検査の用途に使用される光学ビームの自由空間光学波長より小さいアパチャを、以下、サブ波長アパチャと呼ぶ。

【0003】

近距離場走査プローブを近接して、好ましくは非接触方式で配置することは、当該技術分野では「アプローチ・プロブレム」として知られる。

(発明の概要)

本発明は、サブ波長アパチャのアレイを有するマスクを使用して近距離場プローブ・ビームをサンプルに結合する近距離場干渉顕微鏡検査のためのシステムおよび方法の特徴とする。マスクの周囲は、マスクとサンプルの間の相対距離を示す干渉信号のベースとなる光をサンプルに結合させる、より大きい1つまたは複数のアパチャをさらに含む。干渉信号は、サンプルに対してマスクを動的に配置するサーボ・システムにおける制御信号のベースになりうる。いくつかの実施形態では、大きいアパチャを介してサンプルに結合された光をサンプルによって散乱させ、サブ波長アパチャの1つを介して検出し、参照ビーム成分と混合して、干渉制御信号を生成する。概してシステムは、反射でも透過モードでも動作することができ、サンプルのプロファイルを調査し、サンプルからの光学データを読み取り、および/または光学データをサンプルに書き込むのに使用できる。

【0004】

概して、本発明の1態様は、オブジェクトを撮像するための干渉光学顕微鏡検査システムを特徴とする。該システムは、入力ビームを測定ビームと参照ビームとに分割するために配置されたビーム・スプリッタと、測定ビームを受け取るように配置された測定ビーム光源アレイと、参照ビームを受け取るように配置された参照ビーム光源アレイと、マルチ素子光検出器と、撮像光学系とを含む。

【0005】

測定ビーム光源アレイは、複数の測定アパチャのアレイと、測定アパチャの1つに近接する制御アパチャとを有するマスクを含む。制御アパチャの横方向は、近接する測定アパチャの横断(横方向)寸法より大きい。各測定アパチャおよび制御アパチャは、測定ビームの一部をオブジェクトに放射するように構成される。オブジェクトは、放射された測定ビームの部分と相互作用して、それに応答して測定アパチャを介して信号放射線を戻す方向

に向けて測定戻りビームを定める。制御アパチャの横断（横方向）寸法は、制御アパチャに近接する測定アパチャを介して戻す方向に向けられた信号放射線よりも制御アパチャから来た放射線が支配的になるように選択される。参照ビーム光源アレイは、参照ビームの一部を放射するように各々が構成された複数の素子のアレイを含む。放射された参照ビームの部分は参照戻りビームを定める。

【0006】

撮像光学系は、測定ビームと参照戻りビームを光検出器に誘導するように配置され、参照素子のアレイと測定アパチャのアレイの重複複合画像を光検出器上に生成するように構成される。各測定アパチャに対する複合画像は、対応する参照素子の複合画像と重なって、オブジェクトの特定領域を示す光干渉信号を生成する。

10

【0007】

顕微鏡検査システムの実施形態は、以下の特徴のいずれかをさらに含んでもよい。該システムは、測定ビーム光源アレイに対してオブジェクトを支持する位置決めシステムと、光検出器および位置決めシステムに結合される電子コントローラとをさらに含んでもよい。動作時に、電子コントローラは位置決めシステムに、制御アパチャに近接する測定アパチャに対応する干渉信号から誘導された制御信号に応答して、測定ビーム光源アレイとオブジェクトの分離度を調節させる。

【0008】

マスクは、それぞれ測定アパチャの1つに近接し、対応する近接測定アパチャの横断寸法より大きい横断寸法を各々が有する複数の制御アパチャを含むことができる。例えば、複数の制御アパチャは、測定アパチャのアレイの周囲を囲むことができる。

20

【0009】

該システムは、入力ビームを供給するための光源をさらに含んでもよい。さらに、測定アパチャの各々は、光源により供給される入力ビームの真空波長より小さい横断寸法を有することができる。さらに、制御アパチャは、光源により供給される入力ビームの真空波長より大きいかそれと等しい横断寸法を有することができる。

【0010】

測定アパチャのアレイの周囲に制御アパチャを配置することができる。さらに、制御アパチャに近接する測定アパチャ以外の各測定アパチャのオブジェクトに隣接する末端を、第1の共通平面に配置し、制御アパチャおよび制御アパチャに近接する測定アパチャの各々の末端を、第1の共通平面に対してずらすことができる。例えば、制御アパチャおよび制御アパチャに近接する測定アパチャのそのような末端を、第1の共通平面に平行な第2の共通平面に配置することができる。該システムは、入力ビームを供給する光源をさらに含んでもよく、第1の共通平面は、入力ビームの波長の約2倍に相当する分だけ第2の共通平面からずらして配置される。

30

【0011】

該システムは、光検出器に近接して配置されるピンホール・アレイをさらに含んでもよく、各ピンホールは1つまたは複数の検出器素子の個別的セットと位置を合わせて配置され、撮像システムは、各測定アパチャに対する複合画像の位置をピンホール・アレイの対応するピンホールに合わせる。

40

【0012】

測定ビーム光源アレイにおけるマスクは、測定散乱素子のアレイをさらに含んでもよく、各測定散乱素子は、測定アパチャのうちの対応する1つのアパチャに近接し、該対応する測定アパチャに匹敵する横断寸法を有する。各測定散乱素子は、測定ビームの一部を散乱させる。そのような場合、測定戻りビームは、測定散乱素子によって散乱する測定ビームの該部分をさらに含む。撮像光学系は、さらに、参照素子のアレイの複合画像に重なる測定散乱素子のアレイの複合画像を生成するように構成される。各測定散乱素子に対する複合画像は対応する参照素子の複合画像に重なって、近接測定アパチャからの散乱を示す光干渉信号を生成する。

【0013】

50

さらに、散乱素子を含む実施形態では、測定アパチャのアレイの周囲に制御アパチャを配置することができ、制御アパチャに近接する測定アパチャと制御アパチャに近接する測定アパチャに近接する測定散乱素子以外の、各測定アパチャおよび各測定散乱素子のオブジェクトに近接する末端を第1の共通平面に配置することができ、制御アパチャ、制御アパチャに近接する測定アパチャ、および制御アパチャに近接する測定アパチャに近接する測定散乱サイトの各々のオブジェクトに近接する末端を第1の共通平面に対してずらすことができる。さらに、制御アパチャおよび制御アパチャに近接する測定アパチャの末端を、第1の共通平面に平行な第2の共通平面に配置することができる。また、該システムは、入力ビームを供給する光源をさらに含んでもよく、波長の約2倍に相当する分だけ第1の共通平面を第2の共通平面からずらすことができる。

10

**【0014】**

さらに、散乱素子を含む実施形態では、該システムは、測定ビーム光源アレイに対してオブジェクトを支持するための位置決めシステムと、光検出器および位置決めシステムに結合された電子コントローラとをさらに含んでもよい。電子コントローラは、動作時に、位置決めシステムに、制御アパチャに近接する測定アパチャに対応する干渉信号および制御アパチャに近接する測定アパチャに近接する測定散乱サイトに対応する干渉信号から誘導される制御信号に応答して、測定ビーム光源アレイとオブジェクトの分離度を調節させる。

**【0015】**

さらに、散乱素子を含む実施形態では、該システムは、光検出器に近接して配置されるピンホール・アレイをさらに含んでもよい。各ピンホールは、1つまたは複数の検出器素子の個別的セットと位置を合わせて配置され、撮像システムは、各測定アパチャおよび各測定散乱素子に対する複合画像の位置をピンホール・アレイの対応するピンホールに合わせる。

20

**【0016】**

各参照素子は、反射要素を含んでもよい。

各参照素子は、透過アパチャを含む。

概して、本発明の他の態様は、オブジェクトを照明するための光源アレイを特徴とする。該光源アレイは、測定ビームを受け取るように配置されたマスクであって、複数の光源アパチャのアレイと、該光源アパチャの1つに近接する制御アパチャとを有するマスクを含む。制御アパチャの横断寸法は近接光源アパチャの横断寸法より大きい。各光源アパチャおよび制御アパチャは、測定ビームの一部をオブジェクトに放射するように構成される。オブジェクトは、制御アパチャから放射された測定ビームの部分と相互作用し、制御アパチャに近接する光源アパチャを介して制御信号放射線を戻す方向に向ける。

30

**【0017】**

光源アレイの実施形態は、以下の特徴のいずれかを含むことができる。

マスクは、それぞれが測定アパチャの1つに近接し、それぞれが対応する近接測定アパチャの横断寸法より大きい横断寸法を有する、複数の制御アパチャを含んでもよい。例えば、複数の制御アパチャは、測定アパチャのアレイの周囲を囲むことができる。

**【0018】**

該システムは、測定ビームを供給するための光源をさらに含んでもよい。さらに、測定アパチャの各々は、光源により供給される測定ビームの真空波長より小さい横断寸法を有することができる。さらに、制御アパチャは、光源により供給される測定ビームの真空波長より大きいかそれと等しい横断寸法を有することができる。

40

**【0019】**

測定アパチャのアレイの周囲に制御アレイを配置することができる。さらに、制御アパチャに近接する測定アパチャ以外の各測定アパチャのオブジェクトに近接する末端を、第1の共通平面に配置し、制御アパチャおよび制御アパチャに近接する測定アパチャの各々の末端を第1の共通平面に対してずらすことができる。例えば、制御アパチャおよび制御アパチャに近接する測定アパチャのそのような末端を、第1の共通平面に平行な第2の共通

50

平面に配置することができる。該システムは、入力ビームを供給する光源をさらに含んでもよく、第1の共通平面は、測定ビームの波長の約2倍に相当する分だけ第2の共通平面からずらして配置される。

【0020】

測定ビーム光源アレイにおけるマスクは、測定散乱素子のアレイをさらに含んでもよく、各測定散乱素子は、測定アパチャのうちの対応する1つのアパチャに近接し、該対応する測定アパチャに匹敵する横断寸法を有する。

【0021】

、本発明の他の態様は、オブジェクトを照明するためのシステムであって、上述の光源アレイと、光源アレイに対してオブジェクトを支持するための位置決めシステムと、位置決めシステムに結合される電子コントローラとを含み、動作時に、電子コントローラは位置決めシステムに、制御信号放射線から誘導された干渉信号に基づく制御信号にตอบสนองして、測定ビーム光源アレイとオブジェクトの分離度を調節させるシステムを特徴とする。

10

【0022】

概して、本発明の他の態様は、複数の光源でオブジェクトを照明する方法であって、複数の光源アパチャのアレイと、該光源アパチャの各々の横断寸法より大きい横断寸法を有する制御アパチャとを有するマスクを、オブジェクトに近接させて配置する工程と、放射線をマスクに向けて、各光源アパチャおよび制御アパチャに放射線の一部をオブジェクトに対して放射させる工程と、制御アパチャからオブジェクトに向けられた放射線から誘導される光干渉信号を生成する工程と、光干渉信号から誘導される制御信号にตอบสนองして、オブジェクトに対してマスクを再配置する工程とから成る方法の特徴とする。該方法は、顕微鏡検査システムと光源アレイについて上述した特徴のいずれに対応する特徴をさらに含んでもよい。

20

【0023】

以下の同一出願人が有する仮出願、すなわち2000年8月2日に出願された「走査干渉近距離場共焦点顕微鏡 ( Scanning Interferometric Near-Field Confocal Microscopy ) 」という発明の名称の出願番号第09/631,230号 ( ヘンリー エー ヒル ( Henry A. Hill ) )、および2001年2月8日に公開された対応するPCT公報WO 01/09662 A 2 ; 2000年7月27日に出願された「共焦および近距離場顕微鏡用の多数光源アレイ ( Multiple-Source Arrays For Confocal And Near-Field Microscopy ) 」という発明の名称の仮出願番号第60/221,019号 ( ヘンリー エー ヒル ( Henry A. Hill ) ) およびカイル ビー フェリオ ( Kyle B. Ferrio )、および2001年7月27日に出願された同じ発明の名称の対応する通常特許出願番号第09/917,402号 ; 2000年7月27日に出願された「バックグラウンド振幅が減衰および補償された走査干渉近距離場共焦点顕微鏡 ( Scanning Interferometric Near-Field Confocal Microscopy with Background Amplitude Reduction and Compensation ) 」という発明の名称の仮出願番号第60,221,086号 ( ヘンリー エー ヒル ( Henry A. Hill ) )、および2001年7月27日に出願された同じ発明の名称の対応する通常特許出願番号第09/917,399号 ; 2000年7月27日に出願された「共鳴キャビティにより光透過が向上された多数光源アレイ ( Multiple-Source Arrays with Optical Transmission Enhanced by Resonant Cavities ) 」という発明の名称の仮出願番号第60/221,091号 ( ヘンリー エー ヒル ( Henry A. Hill ) )、および2001年7月27日に出願された同じ発明の名称の対応する通常特許出願番号第09/917,400号 ; ならびに2000年7月27日に出願された「ディファレンシャル干渉共焦近距離場顕微鏡 ( Differential Interferometric Confocal Near-Field Microscopy ) 」とい

30

40

50

う発明の名称の仮出願番号第60/221,295号(ヘンリー エー ヒル(Henry A. Hill))および2001年7月27日に出版された同じ発明の名称の対応する通常特許出願番号第09/917,276号には、共焦および近距離共焦点顕微鏡検査システムについても記載されており、上述の出願のそれぞれの内容を本願に引用して援用する。上述の仮出願に開示されている態様および特徴を本願に記載する実施形態に取り入れることができる。

【0024】

本発明の実施形態は、以下の利点のいずれかを含み得る。

1つの利点は、撮像対象サンプルに対する非接触接近において、波長およびサブ波長アパチャのアレイの位置および方向を制御することである。

10

別の利点は、撮像対象サンプルに対する非接触近接において、波長およびサブ波長アパチャのアレイの位置および方向を制御することである。

【0025】

別の利点は、撮像対象サンプルに対する非接触近接走査において、波長およびサブ波長アパチャのアレイの位置および方向を制御することである。

別の利点は、表面が凹凸を有する撮像対象サンプルに対する非接触近接走査において、波長およびサブ波長アパチャのアレイの位置および方向を制御することである。

【0026】

別の利点は、表面に対する非接触近接において波長およびサブ波長アパチャのアレイの位置および方向を制御するために、表面の走査中に表面輪郭をリアル・タイムでマッピング

20

することである。

【0027】

別の利点は、撮像対象サンプルに対する非接触近接走査において波長およびサブ波長アパチャのアレイの位置および方向を制御するための情報が、波長およびサブ波長アパチャのアレイの部分集合によって得られることである。

【0028】

他の態様、特徴および利点が以下に続く。

図面においては、いくつかの図を通じて同様の参照符号が同様の要素を表す。

(発明の詳細な説明)

実施形態は、走査干渉近距離場共焦点顕微鏡を含む。近距離場の用途では、1つまたは複数のアパチャは、例えばサブ波長アパチャのような、自由空間入射ビームの波長よりも小さい寸法を有することができる。他の用途では、1つまたは複数のアパチャは、例えば波長アパチャのように、自由空間入射ビームの波長より小さいか、同等か、またはより大きい寸法を有することができる。

30

【0029】

本発明の装置は幅広い放射源に対して応用されるが、以下の説明は、入射ビームが電磁放射線ビーム、例えば光ビームである光学的測定システムに関して、例示のために提示される。さらなる実施形態では、例えば、アパチャまたは複数のアパチャのアレイに対するビームの入射は、音響放射ビーム、電子ビームおよび原子ビームを含むことができる。

【0030】

本発明の実施形態によって使用される光ビームの光源は、単一および複数波長光源でさまざまに組み合わせられたCWおよびパルス光源を含む。

40

本発明の装置は幅広い撮像システムに対しても応用されるが、以下の説明は、干渉近距離場共焦点顕微鏡検査測定システムに関して、例示のために提示される。ここで用いられる測定システムは、走査およびステップアンドリピート式干渉近距離場共焦点顕微鏡検査システム、ならびに走査およびステップアンドリピート式共焦点および干渉共焦点顕微鏡検査システムでの使用を含むが、それらに限定されない。

【0031】

詳細に図面を参照すると、図1は、本発明の第1の実施形態を示す略図である。図1に示されるように、第1の実施形態は、干渉計、光源10、オブジェクト物質112、オブジ

50

エクト物質チャック160、チャック台162、トランスレータ164、参照オブジェクト20Rおよび、検出器116を備える。干渉計の構成は、当該技術分野ではマイケルソン干渉計として知られ、単純な例として示されている。偏光マイケルソン干渉計や、シーザノーニ(C. Zanoni)著「距離および角度測定のためのディファレンシャル干渉装置(Differential Interferometer Arrangements for Distance and Angle Measurements)」(VDI Berichte NR. 749、pp. 93-106、1989年)に記載されている干渉計のような当該技術分野において知られている他の形態の干渉計も、本発明の趣旨および範囲を逸脱することなく、図1の装置に取り入れることができる。

#### 【0032】

第1の実施形態では、光源10は、点源、または光源の表面全体にわたる空間的にコヒーレントな放射線の光源、好ましくはレーザ、あるいはコヒーレントまたは部分コヒーレントな放射線の同様の光源であるのが好ましく、直線偏光するのが好ましい。光源10は入力ビーム12を放射する。図1に示されるように、入力ビーム12は、照準レンズ14に入って入力ビーム16を形成する。入力ビーム16は位相遅延プレート18によって入力ビーム20として伝達される。入力ビーム20の偏光面を位相遅延プレート18によって回転させて、図1の平面に平行または直交させるようにする。しかし、特定の最終用途の分野では、入力ビーム20の偏光面の他の方向を有利に利用することもできる。位相遅延プレート18の機能は、電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ200からの信号128によって制御される。

#### 【0033】

入力ビーム20は非偏光ビーム・スプリッタ100に入射し、その第1の部分が測定ビーム22として伝達される。ビーム・スプリッタ100に入射した入力ビーム20の第2の部分は参照ビーム50として反射される。測定ビーム22はレンズ60のアパチャを透過し、レンズ24、26を備えたレンズ・アセンブリに入射する。

#### 【0034】

図2aには、レンズ・アセンブリを透過する測定ビーム22の伝播が拡大略図として示されている。レンズ26は、アミチ(Amicci)型対物レンズである。測定ビーム22は、レンズ・アセンブリによって、要素28にて、サブ波長アパチャのアレイ、サブ波長散乱サイトのアレイおよび波長アパチャのアレイを包囲する要素28のビーム直径に集束される。要素30、32を含む要素28の部分が、アミチ型対物レンズ26の表面に拡大略図として図2bに示されている。

#### 【0035】

図2bに示されるように、サブ波長アパチャおよびサブ波長散乱サイトは、それぞれ要素30および32である。図4にはサブ波長アパチャおよびサブ波長散乱サイト1030および1032がそれぞれ示されている。波長アパチャは要素2030であり、同様に図4に示されている。サブ波長散乱サイト32は、好ましくは複素屈折率が要素28の反射体の複素屈折率と異なる非透過性要素である。複素屈折率は、要素32がサブ波長散乱サイトとして効果的に機能するように差がつけられている。要素30、32の直径を $a$ とすると、 $a < \lambda$ 、好ましくは $a \ll \lambda$ である( $\lambda$ は測定ビーム22の波長である)。要素30、32の分離度を $b$ とすると、 $b > a$ 、好ましくは $b \gg a$ である。要素28の反射材料の厚さは約20nmであり、サブ波長要素30を含まない要素28の部分によって透過されるプローブ・ビームの部分が $\ll 1$ となるように選択される。

#### 【0036】

第2のサブ波長アパチャの透過特性に対するあるサブ波長アパチャの影響を最小限にするように、要素28における要素30の相対的間隔はさらに選択される。サブ波長アパチャのアレイによる透過の拡大または縮小をもたらすカップリングは、第1の実施形態の装置によって得られる結果の解釈を複雑にする。

#### 【0037】

サブ波長アパチャ30の直径は、図2bに略図で示したような単一の直径に限定される必

10

20

30

40

50

要はなく、最終用途の分野に応じて2つ以上の直径を有利に含むことができる。さらに、サブ波長アパチャ30の形状は、本発明の趣旨および範囲を逸脱することなく、円形以外の形状、例えば正方形または長方形であってもよい。

【0038】

サブ波長アパチャ30の間隔は、図2bに略図で示したような単一の値に限定される必要はなく、本発明の趣旨および範囲を逸脱することなく、最終用途の分野に応じて2以上の異なる間隔を有利に含むことができる。

【0039】

さらに、サブ波長アパチャ30の配列は、本発明の趣旨および範囲を逸脱することなく、様々な幾何学パターンまたはランダム・パターンで配列することができる。

10

【0040】

要素28におけるアパチャ30は、マスクの穴として、またはさもなければ非透過性マスクにおける透過性誘電領域、例えばさもなければ反射要素における透過性バイアスとして形成することができる。さらに、アパチャ30を区画形成する要素28における誘電体は、サンプルに対する近距離場プローブ・ビームの透過を拡大させる導波管または光共振器を形成することができる。例えば、先に引用した出願「共焦および近距離場顕微鏡用の多数光源アレイ(Multiple-Source Arrays For Confocal And Near-Field Microscopy)」を参照されたい。さらに、現在述べている実施形態では、要素28のマスク部を導電性を有するものとして説明し、それが反射性を有することを示す。他の実施形態では、要素28は必ずしも導電性を有するものでなく、一般に非透過性で、近距離場プローブ・ビームのサンプルへのカップリングは要素28のアパチャ30によって遂行される。

20

【0041】

サブ波長アパチャは、フレネルのゾーン・プレートまたはマイクロレンズをさらに含んで、特定の最終用途の分野において、本発明の趣旨および範囲を逸脱することなくサブ波長アパチャのアレイを介する透過性を有利に変化させることができる。他の特定最終用途の分野において、反射/散乱または透過近距離場プローブ・ビームの空間フィルタとして機能する波長/サブ波長アパチャのアレイに格子を与えて、本発明の趣旨および範囲を逸脱することなく、反射/散乱または透過近距離場プローブ/ビームの特性を変化させることができる。

30

【0042】

サブ波長アパチャ30に入射する測定ビームの第1の部分は、近距離場プローブ・ビームとして伝達される。近距離場プローブ・ビームの一部はオブジェクト物質112に入射され、その一部は反射および/または散乱されてサブ波長アパチャ30に戻り、その一部は近距離場戻りプローブ・ビームとして伝達される。図2bに示すように、オブジェクト物質112と反射要素28の近接面の空間分離度をhとする。hの値は、約2aであるのが好ましい。サブ波長アパチャ30に入射する測定ビームの第2の部分は、第1のバックグラウンド戻りビームとして反射および/または散乱される。サブ波長散乱サイト32に入射する測定ビームの部分は、第2のバックグラウンド戻りビームとして反射および/または散乱される。近距離戻りプローブ・ビーム、第1のバックグラウンド戻りビームおよび第2のバックグラウンド戻りビームは、図1, 図2aにおいて光線32a, 32bとして示される戻りビーム34であって、光線32a, 32bの間に光線を含む戻りビーム34としてアミチ型対物レンズ26を出る。戻りビーム34はレンズ60によって平行にされ、図1aに光線36A, 36Bとして示され、光線36Aと36Bの間に光線を含む戻りビーム36となる。

40

【0043】

サブ波長アパチャ30および散乱サイト32に入射する測定ビームの一部は、戻り測定ビームとして反射される。戻り測定ビームは、測定ビーム22と実質的に平行なビームとしてレンズ24を出て、その一部がビーム42の戻り測定ビーム成分として反射される。ビーム42は停止部材70に入射し、停止部材70によって実質的に遮蔽される。

50

## 【0044】

参照ビーム50は移相器64によって伝達され、レンズ66のアパチャによって伝達され、参照オブジェクト20Rに入射し、図1に光線52a, 52bとして示され、光線52aと52bの間に光線を含む反射参照ビーム54として反射される。ビーム54はレンズ66によって平行にされ、図1に光線56Aおよび56Bとして示され、光線56Aと56Bの間に光線を含む反射参照ビーム56として移相器64により伝達される。移相器64は、参照ビーム50が移相器64を2度通過した結果として、反射参照ビーム56に相対移相を導入する。電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ200からの制御信号132によって、移相の大きさは制御される。

## 【0045】

図2cには、参照オブジェクト20Rを透過する参照ビーム52の伝播が拡大略図で示されている。参照オブジェクト20Rはアミチ型対物レンズである。参照ビーム52は、参照オブジェクト20Rによって、要素28R上の少なくとも2つの波長またはサブ波長反射スポットのアレイを包囲する要素28Rのビーム直径に集束される。要素28Rは、アミチ型対物レンズ26Rの表面の反射スポット30R, 32Rのアレイとして、拡大略図で図2dに示されている。反射スポット30R, 32Rは、要素28のそれぞれ要素30, 32に対応するビーム54の反射参照ビーム成分を生成する。反射スポット30R, 32Rならびに要素30, 32が、それぞれ続く検出器への撮像によって見られる結合体になるように、反射スポット30R, 32Rの間隔、ならびにレンズ66の焦点長さが選択される。直径が戻りビーム36の直径と実質的に同じである反射参照ビーム56を効率的に生成するように、反射スポット30R, 32Rの直径 $a''$ が選択される。反射スポット30R, 32Rの相対反射率は、最終用途の分野に応じて、同一であってもよいし、有利に異なってもよい。

## 【0046】

本発明の趣旨および範囲を逸脱することなく、第1の実施形態の要素28Rと相補的な要素を有する参照オブジェクト20Rによって参照ビームが伝達されるように、参照ビームの経路を構成しうることが当業者なら理解されるであろう。既に引用した「共鳴キャビティにより光透過が向上された多数光源アレイ (Multiple-Source Arrays With Optical Transmission Enhanced By Resonant Cavities)」という発明の名称の米国特許仮出願 (ヒル (Hill)) には、波長および/またはサブ波長アパチャを介してビームを伝達することによる参照ビームの生成の例が記載されている。

## 【0047】

戻りビーム36はビーム・スプリッタ100に入射し、その一部は、図1aに光線38A, 38Bとして示され、光線38A, 38Bの間に光線を含むビームの戻りビーム成分として反射される。反射参照ビーム56はビーム・スプリッタ100に入射し、その一部はビーム38の反射参照ビーム成分として透過する。ビーム38は偏光子68による偏光に関して混合され、次いでレンズ62に入射し、図1aに光線40A, 40Bとして示され、光線40A, 40Bの間に光線を含む混合ビーム40として集束される。混合ビーム40は、画像平面114におけるピンホールがサブ波長アパチャ30の1つまたはサブ波長散乱ポイント32の1つのいずれかの複合画像になるように、ピンホール平面114上に集束される。

## 【0048】

図3にはピンホール平面114が略図で示されている。ピンホールの直径を $c$ とし、ピンホールの間隔を $d$ とする。間隔 $d$ はサブ波長アパチャ30およびサブ波長散乱サイト32の分離度 $b$ に等しく、サブ波長アパチャ30およびサブ波長散乱ポイント32をピンホール平面114の対応するピンホールに撮像する撮像システムの倍率に符合する。直径 $c$ は、撮像システムによるポイント・オブジェクトの回折限界画像の大きさの約2倍になるように選択され、間隔 $d$ は、 $c$ より大きくなるように、好ましくは撮像システムによるポイント・オブジェクトの回折限界画像の大きさの約4倍以上になるように選択される。サブ

10

20

30

40

50

波長アパチャ 30 およびサブ波長散乱サイト 32 の回折限界画像の典型的な振幅関数が、図 3 にそれぞれ破線および実線の輪郭で示されている。

【0049】

混合ビーム 40 の一部はピンホール平面 114 のピンホールにより伝達され、検出器 116、好ましくは量子光子検出器によって検出される。検出器 116 は、最終用途の分野の要件に応じて 1 対のピクセル、ピクセルの 1 次元アレイまたはピクセルの 2 次元アレイを始めとする、ピクセルのアレイを含み、ピンホール平面 114 のピンホールと検出器 116 のピクセルを 1 対 1 に対応づける。検出器 116 は、ピクセルのアレイに対応する信号値のアレイ  $[S_n]$  を含む電気干渉信号を生成する。下付き文字  $n$  は、信号値のアレイ  $[S_n]$  における素子を示す指数である。信号値のアレイ  $[S_n]$  は、最終用途の分野に応じて、1 対の素子、少なくとも 3 つの素子を含む 1 次元アレイ、または 2 次元アレイを含むことができる。

10

【0050】

信号値のアレイ  $[S_n]$  は以下の式で近似することができる。

【0051】

【数 1】

$$[S_n] = [(S_D + S_I)_n] \quad (1)$$

20

式中、項  $(S_D)_n$  はサブ波長アパチャ 30 またはサブ波長アパチャ 32 に関連する項を表し、項  $(S_I)_n$  はサブ波長アパチャ 30 またはサブ波長アパチャ 32 に関連する干渉交差項を表す。

【0052】

サブ波長アパチャ 30 に関連する項  $(S_D)_n$  は、近距離戻りプローブ・ビーム、第 1 のバックグラウンド戻りビーム、および反射参照ビームの、対応する部分の振幅平方と、近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅と第 1 のバックグラウンド戻りビームの複素振幅の間の干渉交差項との合計に比例する。サブ波長アパチャ 32 に関連する項  $(S_D)_n$  は、第 2 のバックグラウンド戻りビームおよび反射参照ビームの対応する部分の振幅平方の合計に比例する。サブ波長アパチャ 30 に関連する項  $(S_I)_n$  は、近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅と反射参照ビームの複素振幅の間の干渉交差項と、第 1 のバックグラウンド戻りビームの複素振幅と反射参照ビームの複素振幅の間の干渉交差項との合計に比例する。サブ波長アパチャ 32 に関連する項  $(S_I)_n$  は、第 2 のバックグラウンド戻りビームの複素振幅と反射参照ビームの複素振幅の間の干渉交差項に比例する。

30

【0053】

項  $(S_D)_n$  は移相  $\chi$  に無関係である。項  $(S_I)_n$  は、移相  $\chi$  のシノソイド関数で、以下の式で表すことができる。

【0054】

【数 2】

$$(S_I)_n = (|S_I| \cos(\varphi + \chi))_n \quad (2)$$

40

式中、 $(|S_I|)_n$  および  $\chi_n$  はそれぞれ、 $(S_I)_n$  に寄与する複素振幅に関連する振幅および位相である。

【0055】

図 1 a、2 a および 2 b に示される本発明の第 1 の実施形態の装置の動作は、4 つの信号値のアレイの測定値のシーケンスの取得に基づく。4 つの信号値のアレイ  $[S_n]_1$ 、 $[S_n]_2$ 、 $[S_n]_3$  および  $[S_n]_4$  は検出器 116 によって取得され、移相器 64 はそれぞれ移相  $\chi_0$ 、 $\chi_0 + \chi_1$ 、 $\chi_0 + \chi_2$  および  $\chi_0 + \chi_3$  ラジアン

50

を導入する（ $\theta_0$  は移相 の特定の固定値である）。4つの信号値のアレイ  $[S_n]_1$ 、 $[S_n]_2$ 、 $[S_n]_3$  および  $[S_n]_4$  は、後続の処理のために、デジタルまたはアナログ形式で、信号 131として電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ 200に送られる。

【0056】

4つのアレイ  $[S_n]_1$ 、 $[S_n]_2$ 、 $[S_n]_3$  および  $[S_n]_4$  をデジタル形式に変換するために、従来の変換回路、すなわちアナログ・デジタル変換回路が検出器 116、または電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ 200に備えられる。移相器 64によって導入された移相  $\theta$  は、生成され、後に電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ 200に伝達される信号 132によって制御される。移相器 64は電子光学タイプのものであってもよい。

10

【0057】

次に、信号値の差の2つのアレイ  $[S_n]_1 - [S_n]_2 = [(S_I)_n]_1 - [(S_I)_n]_2$  および  $[S_n]_3 - [S_n]_4 = [(S_I)_n]_3 - [(S_I)_n]_4$  が電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ 200によって計算される。

【0058】

サブ波長アパチャ 30に関連するピクセルに対応する信号値差のアレイの素子は、実質的に、また比較的効率よく、2つの干渉交差項、すなわち近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅と反射参照ビームの複素振幅との間の第1の干渉交差項、ならびに第1のバックグラウンド戻りビームの複素振幅と反射参照ビームの複素振幅との間の第2の干渉交差項のみを含む。

20

【0059】

実測強度値におけるサブ波長アパチャ 30およびサブ波長散乱サイト 32に関連するビームの振幅の効果の分離の比較的高い効率性は、パラメータ c および d の選択によって制御される。

【0060】

近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅は、近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅と反射参照ビームの振幅との間の第1の干渉項の振幅から、電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ 200によって計算される。その計算には、第2のバックグラウンド戻りビームの複素振幅の成分と、反射参照ビームの複素振幅の成分との間の干渉交差項の実測値を用いてサブ波長アパチャ 30に関連する信号値差の要素の実測値を補償し、第1のバックグラウンド戻りビームの複素振幅の成分と反射参照ビームの複素振幅の成分との間の第2の干渉交差項の寄与率を求めることが含まれる。その計算には、実測値を用いて、ピンホール平面 114のピンホールにより伝達され、検出器 116により検出される反射参照ビームの部分の振幅の平方を求めることがさらに含まれる。

30

【0061】

次に、電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ 200からの信号 128に回答して、位相遅れ要素 18により、入力ビーム 20の偏光面を  $90^\circ$  回転させる。測定された信号値のアレイ  $[S_n]_1$ 、 $[S_n]_2$ 、 $[S_n]_3$  および  $[S_n]_4$  に対応する4つの信号値のアレイの第2のセット  $[S_n]_5$ 、 $[S_n]_6$ 、 $[S_n]_7$  および  $[S_n]_8$  が、検出器 116によって取得される。電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ 200によって信号値差のアレイ  $[S_n]_1 - [S_n]_2 = [(S_I)_n]_1 - [(S_I)_n]_2$  および  $[S_n]_3 - [S_n]_4 = [(S_I)_n]_3 - [(S_I)_n]_4$  を計算する。入力ビーム 20の非回転状態の偏光についての近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅を計算するのに用いたのと同じアルゴリズムを用いて、直交偏光入力ビーム 20に対する近距離戻りプローブ・ビームの複素振幅を電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ 200によって計算する。

40

【0062】

オブジェクト物質 112をオブジェクト・チャック 160に装着する。オブジェクト・チャック 160の角度方向および高さは、チャック台 162に取りつけられる3つのトラン

50

スデューサ（そのうちの2つを161A, 161Bで示す）によって制御される。要素28の表面に対するオブジェクト物質112の角度方向および高さを検出し、それらを用いて誤差信号を生成する。誤差信号の検出および生成は、それぞれサブ波長アパチャおよびサブ波長散乱サイト1030および1032、ならびに図4に示される波長アパチャ要素2030に対応する信号値のアレイから得られる情報に基づいて行われる。

#### 【0063】

誤差信号は、信号166の成分として電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ200に伝達される。誤差信号から電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ200によりサーボ制御信号が生成され、信号166のサーボ制御信号成分としてチャック台162に伝達される。トランスデューサ161A, 161Bおよび第3のトランスデューサ（非図示）は、信号166のサーボ制御信号成分に従ってオブジェクト物質112の方向および/または高さを変化させる。

10

#### 【0064】

要素28の表面と実質的に平行な平面におけるチャック台162の位置は、トランスレータ164によって制御される。チャック台162の位置は、精密距離測定干渉の如き当該技術分野における既知の技術によって検出され、誤差信号は、信号168の誤差信号成分として電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ200に伝達される。[1999年2月18日に出願された「空気による屈折率と光路長の影響を測定する干渉計および方法 (Interferometer And Method For Measuring The Refractive Index And Optical Path Length Effect Air)」という発明の名称の米国特許出願番号第09/252,266号（ペータ デ グルート (Peter de Groot)、ヘンリー エー ヒル (Henry A. Hill) および フランク シー デマレスト (Frank C. Demarest)）、ならびに1999年2月18日に出願された「パルチブルパス干渉計を用いた空気による屈折率と光路長の影響を測定する装置および方法 (Apparatus And Method For Measuring The Refractive Index And Optical Path Length Effects Of Air Using Multiple-Pass Interferometry)」という発明の名称の米国特許出願番号第09/252,266号（ヘンリー エー ヒル (Henry A. Hill)、ペータ デ グルート (Peter de Groot) および フランク シー デマレスト (Frank C. Demarest)）を参照。両出願の内容を本願に引用して援用する]。サーボ制御信号は、信号168の誤差信号成分から電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ200によって生成され、信号168のサーボ信号成分としてトランスレータ164に伝達される。トランスレータ164は、最終用途の分野の要件に応じて、信号168のサーボ信号成分に応答して、1つまたは2つの直交方向、および1つまたは2つの直交方向面でチャック台162の位置および方向を制御する。

20

30

#### 【0065】

次に、最終用途の分野の要件に応じて、オブジェクト物質112の表面と実質的に平行な1つまたは2つの直交方向で、かつオブジェクト物質112の近接面と要素28の間に空間的距離を置いて、オブジェクト物質112が走査される。測定された信号値のアレイ  $[S_n]_1$ 、 $[S_n]_2$ 、 $[S_n]_3$  および  $[S_n]_4$ 、ならびに最終用途によって必要とされる場合には  $[S_n]_5$ 、 $[S_n]_6$ 、 $[S_n]_7$  および  $[S_n]_8$  を、走査パラメータ、ならびに電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ200によって計算されたそれぞれの近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅と反射参照ビームのそれぞれの複素振幅との間のそれぞれの干渉交差項の振幅および位相の関数として取得する。

40

#### 【0066】

第1の実施形態の装置によるオブジェクト物質112についての情報は、著しく低減されたバックグラウンド信号の存在下で取得される。バックグラウンド信号への寄与源には、第1のバックグラウンド戻りビーム、停止部材70によって遮蔽されていない戻り測定ビ

50

ームの部分、第1の実施形態の装置において測定ビームに関連する他のビームの反射および/または散乱によって生成されるバックグラウンド、ならびに反射参照ビームに関連する対応するビームが含まれる。第1に第1の実施形態の装置は共焦点光学撮像/検出システムを含み、第2にバックグラウンド補償手順は第2のバックグラウンド戻りビームの測定に基づくという理由から、バックグラウンド信号が著しく低減される。

【0067】

共焦点光学撮像/検出システムは、非共焦点光学撮像/検出システムに比べて、深さ識別能を著しく向上させ、それにより撮像対象平面部からずれた平面部に生成される散乱/反射ビームに対する識別能を著しく向上させてきたことは、当業者によく知られている。しかし、共焦点光学撮像/検出システムは、第1のバックグラウンド戻りビームに対する識別を行わない。第2のバックグラウンド戻りビームの測定に基づくバックグラウンド補償手順は、第1の実施形態の装置の共焦点撮像/検出特性によって識別されない第1のバックグラウンド戻りビームに対する補償を行う。第2のバックグラウンド戻りビームの測定に基づくバックグラウンド補償手順は、第1の実施形態の装置の共焦点撮像/検出特性によって識別されない撮像対象平面部からずれた平面部に生成される散乱/反射ビームに対してさらに補償を行うことに留意されたい。

10

【0068】

オブジェクト物質112の表面と実質的に平行な1つまたは2つの直交方向を組み合わせ、かつオブジェクト物質112の近接面と要素28の間に空間的距離をおいたオブジェクト物質112の走査が、「ステップアンドリピート」モードとして第1の実施形態に対して行われる。動作を連続操作モードに修正した第1の実施形態は、本発明の第1実施形態の第3の変形例として以下に説明される。

20

【0069】

誤差信号は、要素28の周囲に位置する波長アパチャ2030のレイより得られた情報に基づいて検出および生成される。波長アパチャ2030の直径は $a_1$ であり、 $a_1$ はほぼ $h_1$ に等しい。図4に示されるように、波長アパチャ2030の平面は要素30, 32の平面から距離 $h_1$ だけずれており、 $h_1$ はほぼ $2h_1$ に等しい。要素2030に入射した測定ビームの一部はプローブ・ビームとして伝達される。プローブ・ビームの一部はオブジェクト物質112に入射し、その一部は反射および/または散乱されてサブ波長アパチャ1030に戻り、その一部が戻りプローブ・ビームとして伝達される。要素1032に入射した測定ビームの一部は第2のバックグラウンド戻りビームの成分として散乱/反射される。

30

【0070】

戻りプローブ・ビームは、測定された信号値のレイ $[S_n]$ の特定要素として検出される。測定レイは、サブ波長アパチャおよびサブ波長散乱サイト1030, 1032のそれぞれ、ならびに図4に示される波長アパチャ要素2030に対応する信号値をも含む。

【0071】

測定されたレイの特定の素子に対応する信号値差 $[S_n]_1 - [S_n]_2$ および $[S_n]_3 - [S_n]_4$ を電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ200によって計算し、第1のバックグラウンド戻りビームの対応する成分によって補償する。要素1032に伴って取得される情報を該補償に利用する。特定の要素に対応する補償信号値差を用いて、要素2030、およびオブジェクト物質112上の対応するサイトの相対分離度 $h_1$ を監視する(図4を参照)。

40

【0072】

測定された高さの値のレイ $[h_1]$ を用いて、電子コントローラ、信号プロセッサおよびコンピュータ200に信号166の成分として伝達される誤差信号を生成する。要素2030の直径であるため、誤差信号生成手順は、約10 ~ 30の高さの値の範囲に対して比較的高感度を維持する。高さの範囲が比較的広いため、要素28を要素112に接近させる上で誤差信号を効果的に利用できる。

【0073】

50

さらに、オブジェクト物質 112 を走査すると、要素 28 の「先端」が高さの値のアレイ [  $h_1$  ] の対応する要素を監視し、要素 112 の表面輪郭の変化を検出する。図 4 には、要素番号 112 で示される平面、要素番号 112 a で示される凸面、および要素番号 112 b で示される凹面として、要素 112 の 3 つの異なる表面形状が示されている。次いで、要素 28 と要素 112 の接触を防ぐために、サーボ制御システムにおいて表面輪郭の変化の検出を予測し、要素 112 の少なくとも一部を所望の高さレベルに維持する。

【 0074 】

本発明の範囲および趣旨を逸脱することなく、直径および関連する変位  $h$  が異なる波長  $\lambda$  の追加的なセットを使用できることを当業者なら理解するであろう。

【 0075 】

本発明の第 1 の実施形態の第 1 の変形例は、図 1 a に略図で示される本発明の第 1 の実施形態と同じ要素を含む。第 1 の実施形態の変形例と第 1 の実施形態との違いは、測定された信号値のアレイを取得するのに使用する手順にある。第 1 の実施形態の第 1 の変形例では、ヘテロダイン検出技術、またはデジタル・ヒルベルト変換位相検出器 [ 「 Phase-locked loops: theory, design, applications 」 第 2 版 ( マグロウヒル ( McGraw-Hill ) ( ニューヨーク ) 1993 年、アール イー ベスト ( R. E. Best ) 著 ) 参照 ]、位相固定ループ [ アール イー ベスト ( R. E. Best )、前掲を参照 ]、参照位相として位相  $\phi$  を用いたスライディング・ウィンドウ FFT [ Digital Techniques for Wideband Receivers ( アルテック・ハウス ( Artech House ) ( ボストン ) )、1995 年 ( ジェイ ツイ ( J. Tsui ) ) 著を参照 ] の如き非パルス信号用位相感度検出技術を用いて、振幅  $( |S_I| )_n$  および位相  $( \phi )_n$  が求められる。

【 0076 】

遅延なく均一に抽出される関数については、該関数についての情報を取得するためのデジタル信号処理に基づく位相感度技術を実施することによって、該関数のチェビシェフ多項式に基づいた結果が得られることが知られている [ エイチ エー ヒル ( H. A. Hill ) およびアール ティー ステビンス ( R. T. Stebbins )、Astrophys. J.、200、p 484 ( 1975 年 ) を参照 ]。以下の式に従って偏差  $\phi_0$  を中心に位相  $\phi$  を走査する例を考える。

【 0077 】

【 数 3 】

$$\chi = \chi_0 + \Delta\chi \tag{3}$$

式中、 $\chi$  は時間  $t$  の関数である。 $\chi_0$  の走査によって、以下の式で表される、式 ( 2 ) および ( 3 ) による信号値のアレイの素子における成分を生成する。

【 0078 】

【 数 4 】

$$(S_I)_n = ( |S_I| \cos(\phi + \chi_0) )_n \cos \Delta\chi - ( |S_I| \sin(\phi + \chi_0) )_n \sin \Delta\chi \tag{4}$$

次いで、 $\cos$  および  $\sin$  の係数アレイの位相感度検出によって振幅アレイ [  $( |S_I| )_n$  ] および位相アレイ [  $( \phi + \chi_0 )_n$  ] を求める。位相感度検出は、 $( |S_I| )_n$  に  $\cos$  を乗じ、時間について  $( |S_I| )_n \cos$  を積分し、また  $( |S_I| )_n$  に  $\sin$  を乗じ、時間について  $( |S_I| )_n \sin$  を積分する。  $\phi_0$  が、角周波数が  $\omega_1$  で振幅が 1 のシヌソイダル関数、すなわち以下の式で表され、 $( |S_I| )_n$  が遅延なく均一に抽出される場合は、 $\cos$  および  $\sin$  を  $( |S_I| )_n$  の特定のチェビシェフ多項係数のアレイとして効果的に表すことがで

10

20

30

40

50

きる。

【 0 0 7 9 】

【 数 5 】

$$\Delta\chi = \cos\omega_1 t \quad (5)$$

チェビシェフ多項式の既知の特性を用いて、特定のチェビシェフ多項係数のアレイの素子を以下の式で表すことができる。

【 0 0 8 0 】

【 数 6 】

$$\begin{aligned} (|S_I| \cos(\varphi + \chi_0))_n &= \frac{4}{T[1+J_0(2)]} \int_{-T/2}^{T/2} (S_I)_n \cos\Delta\chi dt \\ &= \frac{4}{[1+J_0(2)]} \int_{-1}^1 \frac{(S_I)_n T_1(\Delta\chi)}{[1-(\Delta\chi)^2]^{1/2}} d\Delta\chi, \end{aligned} \quad (6)$$

【 数 7 】

$$\begin{aligned} (|S_I| \sin(\varphi + \chi_0))_n &= -\frac{4}{[1-J_0(2)]} \int_{-T/2}^{T/2} (S_I)_n \sin\Delta\chi dt \\ &= -\frac{4}{[1-J_0(2)]} \int_{-1}^1 \frac{(S_I)_n V_1(\Delta\chi)}{[1-(\Delta\chi)^2]^{1/2}} d\Delta\chi \end{aligned} \quad (7)$$

式中、 $T = 2 / \omega_1$  で、 $T_1$  および  $V_1$  は、それぞれタイプ I およびタイプ II の 1 位チェビシェフ多項式で、 $J_0$  は第 1 種の 0 位ベッセル関数である [Mathematical Methods for Physicists (ジーアルフケン (G. Arfken)) (Academic Press - ニューヨーク) 1968 年を参照]。

【 0 0 8 1 】

一般に、位相ずれは、走査オブジェクト物質 1 1 2 の時間を通じて不変とする条件に合致しない場合は求める必要はない。異なる時刻に得られた結果を比較するためには、2 つの異なる測定時刻の間の時間中に  $\theta_0$  に生じた変化を求める必要があるものと考えられる。 $\theta_0$  の相対的な変化は、例えば表面が必要な精度で平坦性を有する等方性媒体、例えば石英ガラスを含むオブジェクト物質 1 1 2 についてのアレイ  $[S_n]$  における振幅  $[(|S_I|)_n]$  および位相  $[(\varphi)_n]$  のアレイを取得することによって求めることができる。

【 0 0 8 2 】

第 1 の実施形態の第 1 の変形例は、ヘテロダイン検出システムの利点を有する。第 1 の実施形態の第 1 の変形例についての残りの説明は、第 1 の実施形態について述べた説明の対応する部分と同じである。測定ビームは図 2 a に示される角度でマスク要素 2 8 に入射し、要素 2 8 と接触するためにレンズ 1 2 4 A を通過するため、第 1 の実施形態において使用した近距離場プローブ・ビームと異なる近距離場プローブ・ビームを使用する本発明の第 2 の実施形態によって、オブジェクト物質 1 1 2 の追加的な反射および/または散乱特性を得ることができる。

【 0 0 8 3 】

10

20

30

40

50

サブ波長アパチャ30に入射した測定ビームの第1の部分は修正近距離場プローブ・ビームとして伝達される。第2の実施形態の改造近距離場プローブ・ビームと第1の実施形態の近距離場プローブ・ビームとの主要相違点は、近距離場多極子構成の違いである。第1の実施形態の近距離場プローブ・ビームの近距離場多極子構成は、アパチャ30の対応するアパチャに配置された磁気双極子に関連する有効近距離場項を含む。

【0084】

第2の実施形態の近距離場プローブ・ビームの近距離場多極子構成は、磁気双極子と、アパチャ30の対応するアパチャに配置された電気双極子の両方に関連する有効近距離場項を含む[ジェイ ディー ジャクソン(J. D. Jackson)、Classical Electrodynamics、第9章、第2版(ウィレイ-ニューヨーク(Wiley-New York))(1975年);および「Diffraction Theory」、シー ジェイ ブーカンブ(C. J. Bouwkamp)、Reports on Progress in Physics、17、pp. 35-100、編集 エー シー ストリックランド(A. C. Strickland)、物理学会(The Physical Society)(1954年)を参照]。磁気双極子に関連する近距離場の空間特性および電気双極子に関連する近距離場の空間特性に違いがあるため(導電要素28の平面に位置を合わせた磁気双極子、および導電要素28の平面に直交するように配向する電気双極子に関連する電場の特定成分の分布については図2bを参照のこと)、第2の実施形態によって測定された近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅は、第1の実施形態によって測定された近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅と異なる。結果として、第2の実施形態によって測定された近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅は、第1の実施形態によって測定された近距離場戻りプローブ・ビームの複素振幅によって表されるオブジェクト物質112の対応する画像と異なるオブジェクト物質112の3次元容量部の「画像」を表す。

10

20

【0085】

第2の実施形態についての残りの説明は、第1の実施形態について述べた説明の対応する部分と同じである。

本発明のさらなる実施形態は、上述のシステムを透過方式で動作するように構成することを含む。当該実施形態は、図5に示されている。

【0086】

図5に示される実施形態の多くの要素は、先の実施形態の要素と同様に機能を発揮し、図1に示される第1の実施形態の対応する要素と同じ要素番号で図5に示される。

30

【0087】

ビーム20は非偏光ビーム・スプリッタ102に入射され、その第1の部分は測定ビーム22Tとして伝達される。次いで、測定ビーム22Tが鏡92で反射され、次いで鏡90で反射された後に基板112Tのスポットに集束される。基板112Tは、ビーム20の波長において透明な基板、ならびに第1の実施形態のアパチャ30に対応する波長および/またはサブ波長アパチャのアレイを含む。スポットに集束された測定ビーム22Tの一部は、近距離場プローブ・ビームのアレイとしてサブ波長アパチャ30により伝達される。サブ波長アパチャ30についての説明は、第1の実施形態のサブ波長アパチャ30のアレイについて述べた説明の対応する部分と同じである。スポットの直径は、サブ波長アパチャ30のアレイをスパンするのに十分な大きさである。

40

【0088】

近距離場ビームのアレイによって検査するサンプル25は、アミチ型レンズ26Tのフラット面に配置される。近距離場プローブ・ビームのアレイは、第5の実施形態の装置による後続の処理に関して、第1の実施形態のビーム34に対応する透過ビーム34としてサンプル25によって伝達される。

【0089】

図5に示されるように、ビーム20の第2の部分は、参照ビーム50Tとして鏡102に反射される。参照ビーム50Tは、鏡94A, 94B, 94Cによって反射された後に、

50

参照ビーム 5 2 としてレンズ 6 0 のアパチャを介して伝達される。参照ビーム 5 2 についての説明は、第 1 の実施形態のビーム 5 2 について述べた説明の対応する部分と同じである。

【 0 0 9 0 】

さらに、追加の実施形態において、周囲アパチャ 2 0 3 0 を介して誘導される放射線は、測定アパチャ 3 0 についての波長と異なる波長であってもよい。

他の態様、利点および改造形態も請求項の範囲に含まれる。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施形態を示す略図である。

【 図 2 a 】 第 1 の実施形態で使用されるアミチ型対物レンズ 2 6 およびレンズ 2 4 を備えたレンズ・アセンブリならびに第 2 の実施形態で使用されるアミチ型対物レンズ 2 6 およびレンズ 1 2 4 を備えたレンズ・アセンブリを示す略図である。

【 図 2 b 】 輪郭作成（プロファイリング）/ 撮像対象のオブジェクト物質 1 1 2 に対する導電要素 2 8 と、サブ波長アパチャ 3 0 に位置する電気双極子および磁気双極子に関連する遠距離電場成分の角度分布関数とを示す略図である。

【 図 2 c 】 第 1 の実施形態で使用されるアミチ型対物レンズ 2 6 R およびレンズ 2 4 R を備えた参照オブジェクト 2 0 R を示す略図である。

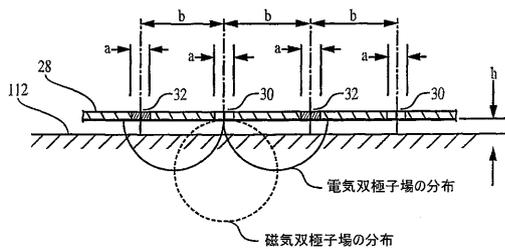
【 図 2 d 】 参照オブジェクト 2 0 R に使用される反射要素 3 0 R , 3 2 R を備えた要素 2 8 を示す略図である。

【 図 3 】 画像平面 1 1 4 と、画像平面 1 1 4 のそれぞれのピンホールにおけるサブ波長アパチャ 3 0 およびサブ波長散乱サイト 3 2 の画像に対する振幅分布関数を示す略図である。

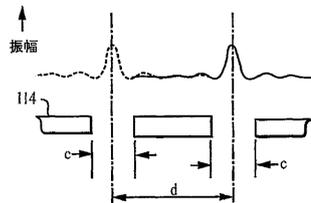
【 図 4 】 要素 2 8 の周囲にあるオブジェクト物質 1 1 2 に対する要素 2 8 を示す略図である。

【 図 5 】 透過方式で動作する本発明の実施形態を示す略図である。

【 図 2 b ）



【 図 3 ）



## 【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau(43) International Publication Date  
7 February 2002 (07.02.2002)

PCT

(10) International Publication Number  
**WO 02/10828 A2**

- (51) International Patent Classification: **G02B 21/00**
- (21) International Application Number: PCT/US01/23656
- (22) International Filing Date: 27 July 2001 (27.07.2001)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:  
60/221,287 27 July 2000 (27.07.2000) US
- (63) Related by continuation (CON) or continuation-in-part (CIP) to earlier application:  
US 60/221,287 (CIP)  
Filed on 27 July 2000 (27.07.2000)
- (71) Applicant (for all designated States except US):  
**ZETETIC INSTITUTE** [US/US], Suite 206, 1665  
E. 18th Street, Tucson, AZ 85716 (US).
- (72) Inventor; and  
(75) Inventor/Applicant (for US only): **HILL, Henry, Allen**  
[US/US]; 340 S. Avenida de Palmas, Tucson, AZ 85716  
(US).
- (74) Agent: **PRAHL, Eric, L.**; Fish & Richardson, P.C., 255  
Franklin Street, Boston, MA 02110-2804 (US).
- (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU,  
AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ,  
DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR,  
HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,  
LS, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ,  
NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM,  
KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian  
patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European  
patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE,  
IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF,  
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,  
TG).
- Published:**  
— without international search report and to be republished  
upon receipt of that report
- For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.*



WO 02/10828 A2

(54) Title: CONTROL OF POSITION AND ORIENTATION OF SUB-WAVELENGTH APERTURE ARRAY IN NEAR-FIELD MICROSCOPY

(57) Abstract: Systems and methods for near-field, interferometric microscopy are disclosed in which a mask having an array of sub-wavelength apertures is used to couple near-field probe beams to a sample. The periphery of the mask further includes one or more larger apertures to couple light to the sample that forms the basis of an interferometric signal indicative of the relative distance between the mask and the sample. The interferometric signal can be the basis of a control signal in a servo system that dynamically positions the mask relative to the sample.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

**CONTROL OF POSITION AND ORIENTATION OF SUB-WAVELENGTH  
APERTURE ARRAY IN NEAR-FIELD MICROSCOPY**CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

5 This application claims priority from provisional application Serial No.  
60/221,287 by Henry A. Hill filed July 27, 2000 entitled "Control of Position and  
Orientation of Sub-Wavelength Aperture Array in Near-field Scanning Microscopy,"  
the contents of which is incorporated herein by reference.

10

BACKGROUND

This invention is related to optical imaging and metrology of semiconductor,  
data-storage, and biological materials, structures, and devices.

The near-field scanning probe is typically a sub-wavelength aperture positioned  
in close proximity to a sample; in this way, sub-wavelength spatial resolution in the  
15 object-plane is obtained. An aperture smaller than a free space optical wavelength of  
an optical beam used in a near-field microscopy application is hereinafter referred to as  
a sub-wavelength aperture.

Positioning the near-field scanning probe in close proximity, preferably in a  
non-contact mode, is known in the field as "the approach problem."

20

SUMMARY OF INVENTION

The invention features systems and methods for near-field, interferometric  
microscopy in which a mask having an array of sub-wavelength apertures is used to  
couple near-field probe beams to a sample. The periphery of the mask further includes  
25 one or more larger apertures to couple light to the sample that forms the basis of an  
interferometric signal indicative of the relative distance between the mask and the  
sample. The interferometric signal can be the basis of a control signal in a servo  
system that dynamically positions the mask relative to the sample. In some  
embodiments, light coupled to the sample through the large aperture is scattered by the  
30 sample and detected through one of the sub-wavelength aperture and mixed with a  
reference beam component to produce interferometric control signal. In general, the  
systems may operate in either reflective or transmissive modes, and may be used to  
investigate the profile of a sample, to read optical data from a sample, and/or write  
optical data to a sample.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

In general, in one aspect, the invention features an interferometric optical microscopy system for imaging an object. The system includes: a beam splitter positioned to separate an input beam into a measurement beam and a reference beam; a measurement beam source array positioned to receive the measurement beam; a  
5 reference beam source array positioned to receive the reference beam; a multi-element photo-detector; and imaging optics.

The measurement beam source array includes a mask having an array of measurement apertures and a control aperture adjacent one of the measurement apertures, wherein the control aperture has transverse dimensions larger than the  
10 transverse dimensions of the adjacent measurement aperture. Each of the measurement apertures and the control aperture is configured to radiate a portion of the measurement beam to the object. The object interacts with the radiated measurement beam portions and in response directs signal radiation back through the measurement apertures to define a measurement return beam. The transverse dimensions of the control aperture  
15 are selected to cause the signal radiation directed back through the measurement aperture adjacent the control aperture to be dominated by radiation derived from the control aperture. The reference beam source array includes an array of elements each configured to radiate a portion of the reference beam, the radiated reference beam portions defining a reference return beam.

The imaging optics are positioned to direct the measurement and reference  
20 return beams to the photo-detector and configured to produce overlapping conjugate images of the array of reference elements and the array of measurement apertures on the photo-detector. The conjugate image for each measurement aperture overlaps with the conjugate image of a corresponding reference element to produce an optical  
25 interference signal indicative of a particular region of the object.

Embodiments of the microscopy system may further include any of the following features.

The system may further include a positioning system for supporting the object relative to the measurement beam source array, and an electronic controller coupled to  
30 the photo-detector and the positioning system. During operation the electronic controller causes the positioning system to adjust the separation between the measurement beam source array and the object in response to a control signal derived

WO 02/10828

PCT/US01/23656

from the interference signal corresponding to the measurement aperture adjacent the control aperture.

The mask may include multiple control apertures each adjacent one of the measurement apertures, wherein each control aperture has transverse dimensions larger than the transverse dimensions of the corresponding adjacent measurement aperture. For example, the multiple control apertures may surround the periphery of the array of the measurement apertures.

The system may further include a source for providing the input beam. Furthermore, each of the measurement apertures may have a transverse dimension less than a vacuum wavelength of the input beam provided by the source. Moreover, the control aperture may have a transverse dimension greater than or equal to the vacuum wavelength of the input beam provided by the source.

The control aperture may be located at the periphery of the array of measurement apertures. Furthermore, an end of each measurement aperture adjacent the object, other than the measurement aperture adjacent the control aperture, may lie in a first common plane, and an end of each of the control aperture and the measurement aperture adjacent the control aperture may be displaced relative to the first common plane. For example, such ends of the control aperture and the measurement aperture adjacent the control aperture may lie in a second common plane parallel to the first common plane. The system may further include a source providing the input beam, wherein the first common plane is displaced from the second common plane by an amount equal to about twice the wavelength of the input beam.

The system may further include a pinhole array positioned adjacent the photo-detector, wherein each pinhole is aligned with a separate set of one or more detector elements, and wherein the imaging system causes the conjugate image for each measurement aperture to align with a corresponding pinhole of the pinhole array.

The mask in the measurement beam source array may further include an array of measurement scattering elements, wherein each measurement scattering element is adjacent a corresponding one of the measurement apertures and has transverse dimensions comparable to the corresponding measurement aperture. Each measurement scattering element scatters a portion of the measurement beam. In such cases, the measurement return beam further includes the portions of the measurement beam scattered by the measurement scattering elements. The imaging optics are further

WO 02/10828

PCT/US01/23656

configured to produce a conjugate image of the array of measurement scattering elements that overlaps with the conjugate image of the array of reference elements, wherein the conjugate image for each measurement scattering element overlaps with the conjugate image of a corresponding reference element to produce an optical  
5 interference signal indicative of scattering from the adjacent measurement aperture.

Furthermore, in embodiments involving the scattering elements, the control aperture may be located at the periphery of the array of measurement apertures, and an end adjacent the object of each measurement aperture and each measurement scattering element other than the measurement aperture adjacent the control aperture and the  
10 measurement scattering element adjacent the measurement aperture adjacent the control aperture may lie in a first common plane, and wherein an end adjacent the object of each of the control aperture, the measurement aperture adjacent the control aperture, and the measurement scattering site adjacent the measurement aperture adjacent the control aperture may be displaced relative to the first common plane. Furthermore, the  
15 ends of the control aperture and the measurement aperture adjacent the control aperture may lie in a second common plane parallel to the first common plane. Also, the system may further include a source providing the input beam, and the first common plane may be displaced from the second common plane by an amount equal to about twice the wavelength.

Furthermore, in embodiments involving the scattering elements, the system may  
20 further include a positioning system for supporting the object relative to the measurement beam source array, and an electronic controller coupled to the photo-detector and the positioning system. During operation the electronic controller causes the positioning system to adjust the separation between the measurement beam source  
25 array and the object in response to a control signal derived from the interference signal corresponding to the measurement aperture adjacent the control aperture and the interference signal corresponding to the measurement scattering site adjacent the measurement aperture adjacent the control aperture.

Furthermore, in embodiments involving the scattering elements, the system may  
30 further include a pinhole array positioned adjacent the photo-detector. Each pinhole is aligned with a separate set of one or more detector elements, and the imaging system causes the conjugate image for each measurement aperture and each measurement scattering element to align with a corresponding pinhole of the pinhole array.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

Each reference element may include a reflective element.

Each reference element includes a transmissive aperture.

In general, in another aspect, the invention features, a source array for illuminating an object. The source array includes: a mask positioned to receive a  
5 measurement beam, the mask having an array of source apertures and a control aperture adjacent one of the source apertures. The control aperture has transverse dimensions larger than the transverse dimensions of the adjacent source aperture. Each of the  
10 source apertures and the control aperture is configured to radiate a portion of the measurement beam to the object. The object interacts with the radiated measurement beam portion from the control aperture to direct control signal radiation back through the source aperture adjacent the control aperture.

Embodiments of the source array may further include any of the following features.

The mask may include multiple control apertures each adjacent one of the  
15 measurement apertures, wherein each control aperture has transverse dimensions larger than the transverse dimensions of the corresponding adjacent measurement aperture. For example, the multiple control apertures may surround the periphery of the array of the measurement apertures.

The system may further include a source for providing the measurement beam.  
20 Furthermore, each of the measurement apertures may have a transverse dimension less than a vacuum wavelength of the measurement beam provided by the source. Moreover, the control aperture may have a transverse dimension greater than or equal to the vacuum wavelength of the measurement beam provided by the source.

The control aperture may be located at the periphery of the array of  
25 measurement apertures. Furthermore, an end of each measurement aperture adjacent the object, other than the measurement aperture adjacent the control aperture, may lie in a first common plane, and an end of each of the control aperture and the measurement aperture adjacent the control aperture may be displaced relative to the first common plane. For example, such ends of the control aperture and the measurement aperture  
30 adjacent the control aperture may lie in a second common plane parallel to the first common plane. The system may further include a source providing the input beam, wherein the first common plane is displaced from the second common plane by an amount equal to about twice the wavelength of the measurement beam.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

The mask in the measurement beam source array may further include an array of measurement scattering elements, wherein each measurement scattering element is adjacent a corresponding one of the measurement apertures and has transverse dimensions comparable to the corresponding measurement aperture.

5 In another aspect, the invention features a system for illuminating an object, the system including: the source array described above; a positioning system for supporting the object relative to the source array; and an electronic controller coupled to the positioning system, wherein during operation the electronic controller causes the positioning system to adjust the separation between the measurement beam source  
10 array and the object in response to a control signal based on an interference signal derived from the control signal radiation.

In general, in another aspect, the invention features a method for illuminating an object with multiple sources, the method including: positioning a mask adjacent the object, wherein the mask has an array of source apertures and a control aperture having  
15 transverse dimensions greater than the transverse dimensions of each of the source apertures; directing radiation to the mask to cause each of the source apertures and the control aperture to radiate a portion of the radiation to the object; producing an optical interference signal derived from radiation directed to the object from the control aperture; and repositioning the mask relative to the object in response to a control  
20 signal derived from the optical interference signal. The method may further include features corresponding to any of the features described above for the microscopy system and the source array.

Confocal and near-field confocal, microscopy systems are also described in the following, commonly-owned provisional applications: Serial No. 09/631,230 filed  
25 August 2, 2000 by Henry A. Hill entitled "Scanning Interferometric Near-Field Confocal Microscopy," and the corresponding PCT Publication WO 01/09662 A2 published February 8, 2001; Provisional Application Serial No. 60/221,019 filed July 27, 2000 by Henry A. Hill and Kyle B. Ferrio entitled "Multiple-Source Arrays For Confocal And Near-Field Microscopy" and the corresponding Utility Application Serial  
30 No. \_\_\_\_\_ having the same title filed on July 27, 2001; Provisional Application Serial No. 60,221,086 filed July 27, 2000 by Henry A. Hill entitled "Scanning Interferometric Near-Field Confocal Microscopy with Background Amplitude Reduction and Compensation" and the corresponding Utility Application Serial No.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

\_\_\_\_\_ having the same title filed on July 27, 2001; Provisional Application Serial No. 60/221,091 filed July 27, 2000 by Henry A. Hill entitled "Multiple-Source Arrays with Optical Transmission Enhanced by Resonant Cavities and the corresponding Utility Application Serial No. \_\_\_\_\_ having the same title filed on July 27, 2001; 5 and Provisional Application Serial No. 60/221,295 by Henry A. Hill filed July 27, 2000 entitled "Differential Interferometric Confocal Near-Field Microscopy" and the corresponding Utility Application Serial No. \_\_\_\_\_ having the same title filed on July 27, 2001; the contents of each of the preceding applications being incorporated herein by reference. Aspects and features disclosed in the preceding provisional 10 applications may be incorporated into the embodiments described in the present application.

Embodiments of the invention may include any of the following advantages.

One advantage is the control of position and orientation of an array of wavelength and sub-wavelength apertures in a non-contact approach to a sample being 15 imaged.

Another advantage is the control of position and orientation of an array of wavelength and sub-wavelength apertures in a non-contacting close proximity to a sample being imaged.

Another advantage is the control of position and orientation of an array of 20 wavelength and sub-wavelength apertures in a non-contacting close proximity scan across a sample being imaged.

Another advantage is the control of position and orientation of an array of wavelength and sub-wavelength apertures in a non-contacting close proximity scan across a sample being imaged wherein the sample surface has departures from a flat 25 surface.

Another advantage is the mapping of a surface profile in real time during a scan of the surface for control of position and orientation of an array of wavelength and sub-wavelength apertures in non-contacting close proximity to the surface.

Another advantage is that information for control of position and orientation of 30 an array of wavelength and sub-wavelength apertures in a non-contacting close proximity scan across a sample being imaged is obtained with a subset of the array of wavelength and sub-wavelength apertures.

Other aspects, features, and advantages follow.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

In the drawings, wherein like reference characters denote similar elements throughout the several views:

5 FIG. 1 illustrates, in schematic form, the first embodiment of the present invention;

FIG. 2a illustrates, in schematic form, the lens assembly comprising Amici type objective lens 26 and lens 24, as used in the first embodiment, and the lens assembly comprising Amici type objective lens 26 and lens 124, as used in the second  
10 embodiment;

FIG. 2b illustrates, in schematic form, conducting element 28 in relation to object material 112 being profiled/imaged and angular distribution functions of electric far field field components associated with an electric dipole and a magnetic dipole located at a sub-wavelength aperture 30;

15 FIG. 2c illustrates, in schematic form, the reference object 20R comprising Amici type objective lens 26R and lens 24R, as used in the first embodiment;

FIG. 2d illustrates, in schematic form, element 28 comprising reflecting elements 30R and 32R used in reference object 20R;

FIG. 3 illustrates, in schematic form, image plane 114 and amplitude  
20 distribution functions for images of a sub-wavelength aperture 30 and a sub-wavelength scattering site 32 at respective pinholes in image plane 114; and

FIG. 4 illustrates, in schematic form, element 28 in relation to object material 112 at the perimeter of element 28.

25 FIG. 5 illustrates, in schematic form, an embodiment of the invention operating in a transmission mode.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

Embodiments comprise scanning interferometric near-field confocal  
30 microscopes. For the near-field applications one or more of the apertures may have a dimension or dimensions less than wavelength of the free-space incident beam, e.g., a sub-wavelength aperture. In other applications, one or more of the apertures may have a dimension or dimensions less than, comparable to, or greater than the wavelength of the free-space incident beam, e.g., wavelength apertures.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

While the apparatus of the present invention has application for a wide range of radiation sources, the following description is taken, by way of example, with respect to an optical measuring system in which the incident beam is a beam of electromagnetic radiation, e.g., an optical beam. In further embodiments, for example, the beam  
5 incident on the aperture or arrays of apertures can include an acoustic radiation beam, an electron beam, and an atomic beam.

The source of optical beams used by embodiments of the present invention include CW and pulsed sources in different combinations with single and multiple wavelength sources.

10 Also, while the apparatus of the present invention has application for a wide range of imaging systems, the following description is taken, by way of example, with respect to interferometric confocal near-field microscopy measuring systems. The measuring systems as used herein include, but are not limited to, use in scanning and step-and-repeat interferometric near-field confocal microscopy systems and scanning  
15 and step-and-repeat confocal and interferometric confocal microscopy systems.

Referring to the drawings in detail, FIG. 1 depicts in schematic form the first embodiment of the present invention. As shown in FIG. 1, the first embodiment comprises an interferometer, a source 10, object material 112, object material chuck 160, chuck stage 162, translator 164, reference object 20R, and detector 116. The  
20 configuration of the interferometer is known in the art as a Michelson interferometer, and is shown as a simple illustration. Other forms of interferometer known in the art such as a polarized Michelson interferometer and as described in an article entitled "Differential Interferometer Arrangements for Distance and Angle Measurements: Principles, Advantages, and Applications," by C. Zanoni (VDI Berichte NR. 749, pp.  
25 93-106, 1989) may be incorporated into the apparatus of FIG. 1 without departing from the spirit and scope of the present invention.

For the first embodiment, light source 10 is preferably a point source or a source of radiation spatially incoherent across the surface of the source, preferably a laser or like source of coherent or partially coherent radiation, and preferably linearly polarized.  
30 Light source 10 emits input beam 12. As shown in FIG. 1, input beam 12 enters collimating lens 14 to form input beam 16. Input beam 16 is transmitted by a phase retardation plate 18 as input beam 20. The plane of polarization of input beam 20 is rotated by phase retardation plate 18 to be either parallel or orthogonal to the plane of

WO 02/10828

PCT/US01/23656

FIG. 1. However, other orientations of the plane of polarization of input beam 20 may be beneficially used in certain end use applications. The function of phase retardation plate 18 is controlled by signal 128 from electronic controller, signal processor, and computer 200.

5 Input beam 20 is incident on a non-polarizing beam splitter 100 and a first portion thereof is transmitted as a measurement beam 22. A second portion of input beam 20 incident on beam splitter 100 is reflected as reference beam 50. Measurement beam 22 is transmitted through an aperture in lens 60 and incident on a lens assembly comprising lenses 24 and 26.

10 The propagation of measurement beam 22 through the lens assembly is shown schematically in an expanded form in FIG. 2a. Lens 26 is an Amici type objective lens. Measurement beam 22 is focused by the lens assembly to a beam diameter at element 28 that encompasses an array of sub-wavelength apertures, an array of sub-wavelength scattering sites, and an array of wavelength apertures in element 28. The portion of  
15 element 28 comprising elements 30 and 32 is shown schematically in FIG. 2b in an expanded form on a surface of Amici type objective lens 26.

The sub-wavelength apertures and the sub-wavelength scattering sites are elements 30 and 32, respectively, as indicated in FIG. 2b. Sub-wavelength apertures and the sub-wavelength scattering sites 1030 and 1032, respectively, are indicated in  
20 FIG. 4. The wavelength apertures are elements 2030 and are also indicated in FIG. 4. Sub-wavelength scattering sites 32 are preferably non-transmitting elements with a complex index of refraction different from the complex index of refraction of the reflecting material of element 28. The complex indices of refraction are different so that elements 32 effectively serve as sub-wavelength scattering sites. The diameter of  
25 elements 30 and 32 is  $a$  with  $a < \lambda$ , preferably  $a \ll \lambda$ , where  $\lambda$  is the wavelength of measurement beam 22. The separation of elements 30 and 32 is  $b$  with  $b > a$ , preferably  $b \gg a$ . The thickness of reflecting material of element 28 is of the order of 20 nm and chosen so that the fraction of the probe beam transmitted by sections of element 28 not containing sub-wavelength elements 30 is  $\ll 1$ .

30 The relative spacing of elements 30 in element 28 is further selected to minimize the effect of one sub-wavelength aperture on the transmission properties a second sub-wavelength aperture. A coupling leading to either an enhancement or a

WO 02/10828

PCT/US01/23656

reduction of transmission by an array of sub-wavelength apertures will complicate interpretation of results obtained with the apparatus of the first embodiment.

The diameters of sub-wavelength apertures 30 need not be restricted to a single diameter as shown schematically in FIG. 2b but may beneficially comprise two or more diameters for an end use application. Further, the shapes of sub-wavelength apertures 30 may comprise shapes other than circular, e.g., squares or rectangles without departing from the spirit and scope of the present invention.

The spacing of sub-wavelength apertures 30 need not be restricted to a single value as shown schematically in FIG. 2b but may beneficially comprise two or more different spacings for an end-use application without departing from the spirit and scope of the present invention.

Further, the arrangement of sub-wavelength apertures 30 may be arranged in various geometric patterns or a random pattern without departing from the spirit and scope of the present invention.

The apertures 30 in element 28 can be formed as holes in a mask or as transmissive dielectric regions in an otherwise non-transmissive mask, e.g., transmissive vias in an otherwise reflective element. Moreover, the dielectric material in element 28 defining the apertures 30 can form a waveguide or optical cavity that enhances the transmission of the near-field probe beam to the sample. See, e.g., the previously cited application "Multiple-Source Arrays For Confocal And Near-Field Microscopy." Furthermore, in the presently described embodiment, the mask portion of element 28 is described as conducting to indicate that it is reflective. In other embodiments, element 28 is not necessarily conductive, but is, generally, not transmissive, with the coupling of the near-field probe beams to the sample being accomplished by the apertures 30 in element 28.

The sub-wavelength apertures may further comprise a Fresnel zone plate or a microlens to alter beneficially in certain end use applications the transmission through an array of sub-wavelength apertures without departing from the spirit and scope of the present invention. In certain other end use applications, gratings may be added to an array of wavelength/sub-wavelength apertures operating as spatial filters of reflected/scattered or transmitted near-field probe beam(s) to alter properties of the reflected/scattered or transmitted near-field probe beam(s) without departing from the spirit and scope of the present invention.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

A first portion of the measurement beam incident on sub-wavelength apertures 30 is transmitted as a near-field probe beam. A portion of the near-field probe beam is incident on object material 112 and a portion thereof is reflected and/or scattered back to the sub-wavelength apertures 30, and a portion thereof is transmitted as a near-field return probe beam. The spatial separation of adjacent surfaces of object material 112 and reflecting element 28 is  $h$  as indicated in FIG. 2b. The value of  $h$  is preferably of the order of  $2a$ . A second portion of the measurement beam incident on sub-wavelength apertures 30 is reflected and/or scattered as a first background return beam. A portion of the measurement beam incident on sub-wavelength scattering sites 32 is reflected and/or scattered as a second background return beam. The near-field return probe beam, the first background return beam, and the second background return beam exit Amici type objective lens 26 as return beam 34 shown as rays 32a and 32b in FIGS. 1 and 2a wherein return beam 34 comprises rays between rays 32a and 32b. Return beam 34 is collimated by lens 60 as return beam 36 shown as rays 36A and 36B in FIG. 1a, wherein beam 36 comprise rays between rays 36A and 36B.

A portion of the measurement beam not incident on sub-wavelength apertures 30 and scattering sites 32 is reflected as a return measurement beam. The return measurement beam exits lens 24 as a beam substantially parallel to measurement beam 22 and a portion thereof is reflected as a return measurement beam component of beam 42. Beam 42 is incident on and substantially occulted by stop 70.

Reference beam 50 is transmitted by a phase shifter 64, transmitted by an aperture in lens 66, incident on reference object 20R, and reflected as reflected reference beam 54 shown as rays 52a and 52b in FIG. 1 wherein beam 54 comprises rays between rays 52a and 52b. Beam 54 is collimated by lens 66 and transmitted by phase shifter 64 as a reflected reference beam 56 shown as rays 56A and 56B in FIG. 1, wherein beam 56 comprises rays in between rays 56A and 56B. Phase shifter 64 introduces a relative phase shift  $\chi$  in the reflected reference beam 56 as a result of the two transits of reference beam 50 through phase shifter 64. The magnitude of phase shift  $\chi$  is controlled by control signal 132 from electronic controller, signal processor, and computer 200.

The propagation of reference beam 52 through reference object 20R is shown schematically in an expanded form in FIG. 2c. Reference object 20R is an Amici type objective lens. Reference beam 52 is focused by reference object 20R to a beam

WO 02/10828

PCT/US01/23656

diameter at element 28R that encompasses an array of at least two wavelength or sub-wavelength reflecting spots on element 28R. Element 28R is shown schematically in FIG. 2d in an expanded form as an array of reflecting spots 30R and 32R on a surface of Amici type objective lens 26R. Reflecting spots 30R and 32R generate reflected reference beam components of beam 54 that correspond to elements 30 and 32, respectively, of element 28. The spacing of the reflective spots 30R and 32R and the focal length of lens 66 are chosen such that reflective spots 30R and 32R and elements 30 and 32, respectively, are conjugates as seen by a subsequent imaging onto a detector. The diameter  $a''$  of the reflective spots 30R and 32R is chosen to efficiently generate reflected reference beam 56 with a diameter substantially the same as the diameter of return beam 36. The relative reflectivities of reflecting spots 30R and 32R may be the same or beneficially different depending on an end use application.

It will be evident to those skilled in the art that the path of the reference beam could be configured such that the reference beam is transmitted by a reference object 20R having an element which is complimentary to element 28R of the first embodiment without departing from the spirit and the scope of the present invention. Examples of the generation of a reference beam by transmitting beams through wavelength and/or sub-wavelength apertures is described in cited U.S. Provisional Application by Hill entitled "Multiple-Source Arrays With Optical Transmission Enhanced By Resonant Cavities."

Return beam 36 is incident on beam splitter 100 and a portion thereof is reflected as a return beam component of beam 38 shown as rays 38A and 38B in FIG. 1a, wherein beam 38 comprises rays between rays 38A and 38B. Reflected reference beam 56 is incident on beam splitter 100 and a portion thereof is transmitted as a reflected reference beam component of beam 38. Beam 38 is mixed with respect to polarization by polarizer 68, then incident on lens 62, and focused as mixed beam 40 shown as rays 40A and 40B in FIG. 1a, wherein mixed beam 40 comprises rays between rays 40A and 40B. Mixed beam 40 is focused onto a pinhole plane 114 such that a pinhole in image plane 114 is a conjugate image of either one of the sub-wavelength apertures 30 or one of sub-wavelength scattering points 32.

Pinhole plane 114 is shown schematically in FIG. 3. The diameter of the pinholes is  $c$  and the spacing between the pinholes is  $d$ . The spacing  $d$  is equal to the separation  $b$  of sub-wavelength apertures 30 and sub-wavelength scattering sites 32

WO 02/10828

PCT/US01/23656

times the magnification of the imaging system imaging the sub-wavelength apertures 30 and sub-wavelength scattering points 32 onto corresponding pinholes in pinhole plane 114. Diameter  $c$  is selected to be approximately twice the size of a diffraction limited image of a point object by the imaging system and the spacing  $d$  is selected to  
 5 be larger than  $c$ , preferably  $\geq$  to approximately four times the size of a diffraction limited image of a point object by the imaging system. Typical amplitude functions of diffraction limited images of sub-wavelength apertures 30 and sub-wavelength scattering sites 32 are shown in FIG. 3 as a dashed and solid profiles, respectively.

A portion of mixed beam 40 is transmitted by the pinholes in pinhole plane 114  
 10 and detected by a detector 116, preferably by a quantum photon detector. Detector 116 comprises an array of pixels, comprising either a pair of pixels, a one dimensional array of pixels, or a two dimensional array of pixels according to the requirements of an end-use application, with a one-to-one mapping of pinholes in pinhole plane 114 to the pixels of detector 116. Detector 116 generates an electrical interference signal  
 15 comprising an array of signal values  $[S_n]$  corresponding to the array of pixels.

Subscript  $n$  is an index indicating an element in the array of signal values  $[S_n]$ . The array of signal values  $[S_n]$  may comprise a pair of elements, a one-dimensional array comprising at least three elements, or a two-dimensional array depending on an end-use application.

20 The array of signal values  $[S_n]$  may be written to a good approximation as

$$[S_n] = [(S_D + S_I)_n] \quad (1)$$

where term  $(S_D)_n$  represents terms either associated with sub-wavelength apertures 30  
 25 or associated with sub-wavelength apertures 32 and term  $(S_I)_n$  represents interference cross terms either associated with sub-wavelength apertures 30 or associated with sub-wavelength apertures 32.

A  $(S_D)_n$  term associated with sub-wavelength apertures 30 is proportional to  
 30 the sum of the squares of the amplitudes of the corresponding portions of the near-field return probe beam, of the first background return beam, and of the reflected reference

WO 02/10828

PCT/US01/23656

beam and interference cross terms between complex amplitudes of the near-field return probe beam and of the first background return beam. A  $(S_D)_n$  term associated with sub-wavelength apertures 32 is proportional to the sum of the squares of the amplitudes of the corresponding portions of the second background return beam and of the reflected reference beam. A  $(S_I)_n$  term associated with sub-wavelength apertures 30 is proportional to the sum of the interference cross terms between complex amplitudes of the near-field return probe beam and of the reflected reference beam and between complex amplitudes of the first background return beam and of the reflected reference beam. A  $(S_I)_n$  term associated with sub-wavelength apertures 32 is proportional to the interference cross term between complex amplitudes of the second background return beam and of the reflected reference beam.

Term  $(S_D)_n$  is independent of phase shift  $\chi$ . Term  $(S_I)_n$  is a sinusoidal function of phase shift  $\chi$  and may be written as

$$(S_I)_n = (|S_I| \cos(\varphi + \chi))_n \quad (2)$$

where  $(|S_I|)_n$  and  $\varphi$  are an amplitude and phase, respectively, related to the complex amplitudes contributing to  $(S_I)_n$ .

Operation of the apparatus of the first embodiment of the present invention depicted in FIGS. 1a, 2a, and 2b is based on the acquisition of a sequence of four measurements of arrays of signal values. The sequence of the four arrays of signal values  $[S_n]_1$ ,  $[S_n]_2$ ,  $[S_n]_3$ , and  $[S_n]_4$  is obtained by detector 116 with phase shifter 64 introducing a sequence of phase shifts  $\chi_0$ ,  $\chi_0 + \pi$ ,  $\chi_0 + \pi/2$ , and  $\chi_0 + 3\pi/2$  radians, respectively, where  $\chi_0$  is some fixed value of phase shift  $\chi$ . The four arrays of signal values  $[S_n]_1$ ,  $[S_n]_2$ ,  $[S_n]_3$ , and  $[S_n]_4$  are sent to electronic controller, signal processor, and computer 200 as signal 131, in either digital or analog format, for subsequent processing.

Conventional conversion circuitry, i.e., analog-to-digital converters, is included in either detector 116 or electronic controller, signal processor, and computer 200 for

WO 02/10828

PCT/US01/23656

converting the four arrays  $[S_n]_1$ ,  $[S_n]_2$ ,  $[S_n]_3$ , and  $[S_n]_4$  to a digital format. Phase shift  $\chi$  introduced by phase shifter 64 is controlled by signal 132 where signal 132 is generated and subsequently transmitted by electronic controller, signal processor, and computer 200. Phase shifter 64 can be of an electro-optical type.

5 Next, two arrays of signal value differences

$[S_n]_1 - [S_n]_2 = [(S_T)_{n,1}] - [(S_T)_{n,2}]$  and  $[S_n]_3 - [S_n]_4 = [(S_T)_{n,3}] - [(S_T)_{n,4}]$  are computed by electronic controller, signal processor, and computer 200.

10 Elements of the arrays of signal value differences corresponding to pixels that are associated with sub-wavelength apertures 30 contain substantially and with relatively high efficiency only two interference cross terms, a first interference cross term between the complex amplitude of the near-field return probe beam and of the complex amplitude of the reflected reference beam and a second interference cross term between the complex amplitude of the first background return beam and of the complex amplitude of the reflected reference beam.

15 Elements of the arrays of signal value differences corresponding to pixels that are associated with sub-wavelength scattering sites 32 contain substantially and with relatively high efficiency only the interference cross term between the complex amplitude of the second background return beam and of the complex amplitude of the reflected reference beam.

20 The relatively high efficiency for isolation of effects of amplitudes of beams associated with sub-wavelength apertures 30 and sub-wavelength scattering sites 32 in the measured intensity values is controlled by the choice of parameters  $c$  and  $d$ .

The complex amplitude of the near-field return probe beam is computed by electronic controller, signal processor, and computer 200 from the amplitude of the first  
25 interference term between the complex amplitude of the near-field return probe beam and the amplitude of the reflected reference beam. The computation comprises using measured values of the interference cross terms between components of the complex amplitude of the second background return beam and components of the complex amplitude of the reflected reference beam to compensate the measured values of  
30 elements of signal value differences associated with sub-wavelength apertures 30 for the contribution of the second interference cross terms between components of the complex amplitude of the first background return beam and components of the complex

WO 02/10828

PCT/US01/23656

amplitude of the reflected reference beam. The computation further comprises using measured values for the square of the amplitudes of the portions of the reflected reference beam transmitted by the pinholes of pinhole plane 114 and detected by detector 116.

- 5 Next, the plane of polarization of input beam 20 is rotated by 90° by phase retardation element 18 in response to signal 128 from electronic controller, signal processor, and computer 200. A second set of four arrays of signal values  $[S_n]_5$ ,  $[S_n]_6$ ,  $[S_n]_7$ , and  $[S_n]_8$  corresponding to measured arrays of signal values  $[S_n]_1$ ,  $[S_n]_2$ ,  $[S_n]_3$ , and  $[S_n]_4$  are obtained by detector 116. Arrays of signal value
- 10 differences  $[S_n]_1 - [S_n]_2 = [(S_r)_{n1}] - [(S_r)_{n2}]$  and  $[S_n]_3 - [S_n]_4 = [(S_r)_{n3}] - [(S_r)_{n4}]$  are computed by electronic controller, signal processor, and computer 200. The complex amplitude of the near-field return probe beam for the orthogonally polarized input beam 20 is computed by electronic controller, signal processor, and computer 200 by the same algorithm as used to
- 15 compute the complex amplitude of the near-field return probe beam for the non-rotated state of polarization of input beam 20.

- Object material 112 is mounted on an object chuck 160. The angular orientation and height of object chuck 160 is controlled by three transducers, two of which are shown as 161A and 161B, that are attached to chuck stage 162. The angular orientation and height of object material 112 relative to the surface of element 28 are detected and used to generate error signals. The detection and generation of the error signals is based on information obtained from
- 20 Arrays of signal values corresponding to sub-wavelength apertures and the sub-wavelength scattering sites 1030 and 1032, respectively, and the wavelength-aperture elements 2030 that are illustrated in FIG. 4.

- The error signals are transmitted as a component of signal 166 to electronic controller, signal processor, and computer 200. Servo control signals are generated by electronic controller, signal processor, and computer 200 from the error signals and transmitted as a servo control signal component of signal 166 to chuck stage 162.
- 30 Transducers 161A, 161B, and the third transducer (not shown) alter the orientation

WO 02/10828

PCT/US01/23656

and/or height of object material 112 according to the servo control signal component of signal 166.

The location of chuck stage 162 in a plane substantially parallel to the surface of element 28 is controlled by translator 164. The location of chuck stage 162 is detected  
5 by known techniques in the art such as precision distance measuring interferometry and error signals transmitted as an error signal component of signal 168 to electronic controller, signal processor, and computer 200. [See U.S. Patent Application with Serial No. 09/252,266 entitled "Interferometer And Method For Measuring The Refractive Index And Optical Path Length Effects Air" by Peter de Groot, Henry A. Hill, and  
10 Frank C. Demarest filed Feb. 18, 1999 and U.S. Patent Application with Serial No. 09/252,266 entitled "Apparatus And Method For Measuring The Refractive Index And Optical Path Length Effects Of Air Using Multiple-Pass Interferometry" by Henry A. Hill, Peter de Groot, and Frank C. Demarest filed Feb. 18, 1999. The contents of both applications are incorporated herein by reference.] Servo control signals are generated  
15 by electronic controller, signal processor, and computer 200 from the error signal component of signal 168 and transmitted as a servo signal component of signal 168 to translator 164. Translator 164 controls the location and orientation of chuck stage 162 in one or two orthogonal directions and in one or two orthogonal planes of orientation, according to the requirements of an end use application, in response to the servo signal  
20 component of signal 168.

Next, the object material 112 is scanned in a combination of one or two orthogonal directions substantially parallel to the surface of object material 112 and in the spatial separation of the element 28 from the adjacent surface of object material 112 according to the requirements of an end-use application. Measured arrays of signal  
25 values  $[S_n]_1$ ,  $[S_n]_2$ ,  $[S_n]_3$ , and  $[S_n]_4$  and, if required by an end-use application, measured arrays of signal values  $[S_n]_5$ ,  $[S_n]_6$ ,  $[S_n]_7$ , and  $[S_n]_8$  are obtained as a function of the scanned parameters and the amplitudes and phases of the respective interference cross terms between the complex amplitude of the respective near field return probe beam and of the respective complex amplitude of the reflected reference  
30 beam computed by electronic controller, signal processor, and computer 200.

Information with apparatus of the first embodiment about object material 112 is acquired in the presence of a significantly reduced background signal. Sources of

WO 02/10828

PCT/US01/23656

contributions to the background signal comprise the first background return beam, a portion of the return measurement beam not occulted by stop 70, a background produced by reflection and/or scattering of other beams associated with the measurement beam in the apparatus of the first embodiment, and corresponding beams associated with the reflected reference beam. The background signal is significantly reduced first because the apparatus of the first embodiment comprises a confocal optical imaging/detecting system and second because of the background compensation procedure based on measurement of the second background return beam.

It is well known to those in the art that confocal optical imaging/detecting systems have significantly improved depth discrimination in relation to non-confocal optical imaging/detecting systems and therefore significantly improved discrimination against scattered/reflected beams generated in plane sections displaced from the plane section being imaged. However, confocal optical imaging/detecting systems do not discriminate against the first background return beam. The background compensation procedure based on measurement of the second background return beam compensates for the first background return beam that is not discriminated against by the confocal imaging/detecting properties of the apparatus of the first embodiment. It should be noted that the background compensation procedure based on measurement of the second background return beam further compensates for the scattered/reflected beams generated in plane sections displaced from the plane section being imaged not discriminated against by the confocal imaging/detecting properties of the apparatus of the first embodiment.

The scanning of object material 112 in a combination of one or two orthogonal directions substantially parallel to the surface of object material 112 and in the spatial separation of the element 28 from the adjacent surface of object material 112 is

WO 02/10828

PCT/US01/23656

measurement beam incident on element 2030 is transmitted as a probe beam. A portion of the probe beam is incident on object material 112 and a portion thereof is reflected and/or scattered back to the sub-wavelength apertures 1030, and a portion thereof is transmitted as a return probe beam. A portion of the measurement beam incident on element 1032 is scattered/reflected as a component of the second background return beam.

The return probe beam is detected as certain elements of measured arrays of signal values  $[S_n]$ . The measured arrays also include signal values corresponding to sub-wavelength apertures and the sub-wavelength scattering sites 1030 and 1032, respectively, and the wavelength-aperture elements 2030 that are illustrated in FIG. 4.

Signal value differences  $[S_n]_1 - [S_n]_2$  and  $[S_n]_3 - [S_n]_4$ , corresponding to the certain elements of the measured arrays are computed by electronic controller, signal processor, and computer 200 and compensated for by the corresponding components of the first background return beam. Information obtained associated with elements 1032 is used in the compensation. The compensated signal value differences corresponding to the certain elements is used to monitor the relative separation  $h_1$  of elements 2030 and corresponding sites on object material 112 (see FIG. 4).

The measured array of height values  $[h_1]$  is used to generate the error signals transmitted to electronic controller, signal processor, and computer 200 as a component of signal 166. Because of the diameter of element 2030, the error signal generation procedure retains a relatively high sensitivity over a range of height values of the order of  $10\lambda$  to  $30\lambda$ . Because of the relatively large height range, the error signals can be effectively used in an approach of element 28 to element 112.

In addition, as the object material 112 is scanned, the "leading edge" of element 28 monitors the corresponding elements of array of height values  $[h_2]$  and detects any change in surface profile of element 112. In FIG. 4, three different surface shapes for element 112 are shown as a flat surface indicated with element number 112, a convex surface indicated with element number 112a, and a concave surface indicated with element number 112b. The detection of changes in surface profile are then anticipated in the servo control system so as to prevent contact of element 28 with element 112 and maintain at least one portion of element 112 at a desired height level.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

It will be evident to those skilled in the art that additional sets of wave-length apertures 2030 having different diameters and associated displacements  $\Delta h$  without departing from the scope and spirit of the present invention.

A first variant of the first embodiment of the present invention comprises the same elements as the first embodiment of the present invention as shown schematically in FIG. 1a. The difference between the first variant of the first embodiment and the first embodiment is in the procedure used to acquire the measured arrays of signal values. In the first variant of the first embodiment, the amplitude  $(|S_f|)_n$  and phase  $(\varphi)_n$  are determined using known heterodyne detection techniques or phase sensitive detection techniques for non-pulsed signals such as a digital Hilbert transform phase detector [see "Phase-locked loops: theory, design, and applications" 2nd ed. (McGraw-Hill, New York) 1993, by R. E. Best], a phase-locked loop [see R. E. Best, *ibid.*], a sliding window FFT [see *Digital Techniques for Wideband Receivers*, (Artech House, Boston) 1995, by J. Tsui using phase  $\chi$  as the reference phase]. It is known for a function sampled uniformly in time that an implementation of a phase sensitive technique based on digital signal processing for acquisition of information on the function yields results based on a Chebyshev polynomial representation of the function [see H. A. Hill and R. T. Stebbins, *Astrophys. J.*, 200, p 484 (1975)]. Consider the example of phase  $\chi$  being scanned about an offset  $\chi_0$  so that

$$\chi = \chi_0 + \Delta\chi \quad (3)$$

where  $\Delta\chi$  is some function of time  $t$ . The scanning of  $\chi$  generates components in elements of an array of signal values according to the Eqs. (2) and (3) expressed as

$$(S_f)_n = (|S_f| \cos(\varphi + \chi_0))_n \cos \Delta\chi - (|S_f| \sin(\varphi + \chi_0))_n \sin \Delta\chi \quad (4)$$

The amplitude array  $(|S_f|)_n$  and phase array  $(\varphi + \chi_0)_n$  are then obtained by way of phase sensitive detection of the coefficient arrays of  $\cos \Delta\chi$  and  $\sin \Delta\chi$ . The phase sensitive detection comprises multiplying  $(|S_f|)_n$  by  $\cos \Delta\chi$  and integrating

WO 02/10828

PCT/US01/23656

$(|S_I|)_n \cos \Delta\chi$  with respect to time and multiplying  $(|S_I|)_n$  by  $\sin \Delta\chi$  and integrating  $(|S_I|)_n \sin \Delta\chi$  with respect to time. For the case of  $\Delta\chi$  being a sinusoidal function at an angular frequency  $\omega_1$  with an amplitude 1, i.e.,

$$5 \quad \Delta\chi = \cos \omega_1 t \quad (5)$$

and  $[(|S_I|)_n]$  sampled uniformly in time, the coefficient arrays of  $\cos \Delta\chi$  and  $\sin \Delta\chi$  can be expressed effectively as arrays of certain Chebyshev polynomial coefficients of  $[(|S_I|)_n]$ .

10 Elements of the arrays of certain Chebyshev polynomial coefficients can be expressed using known properties of Chebyshev polynomial as

$$\begin{aligned} (|S_I| \cos(\varphi + \chi_0))_n &= \frac{4}{T[1+J_0(2)]} \int_{-T/2}^{T/2} (S_I)_n \cos \Delta\chi dt \\ &= \frac{4}{[1+J_0(2)]} \int_{-1}^1 \frac{(S_I)_n T_1(\Delta\chi)}{[1-(\Delta\chi)^2]^{1/2}} d\Delta\chi, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} 15 \quad (|S_I| \sin(\varphi + \chi_0))_n &= -\frac{4}{[1-J_0(2)]} \int_{-T/2}^{T/2} (S_I)_n \sin \Delta\chi dt \\ &= -\frac{4}{[1-J_0(2)]} \int_{-1}^1 \frac{(S_I)_n V_1(\Delta\chi)}{[1-(\Delta\chi)^2]^{1/2}} d\Delta\chi \end{aligned} \quad (7)$$

where  $T = 2\pi/\omega_1$ ,  $T_1$  and  $V_1$  are order 1 Chebyshev polynomials of type I and type II, respectively, and  $J_0$  is the order 0 Bessel function of the first kind [see Section 13.3 of *Mathematical Methods for Physicists* by G. Arfken (Academic Press-New York) 1968].

20 The phase offset  $\chi_0$  generally need not be determined other than meet the condition that it not be variable during a period of scanning object material 112. To compare results obtained at different times, it may be necessary to determine any

WO 02/10828

PCT/US01/23656

change that may have occurred in  $\chi_0$  during the period between the two different measurement times. Relative changes in  $\chi_0$  can be determined for example by acquiring arrays of amplitudes  $[|S_l|_n]$  and phases  $[(\phi)_n]$  in array  $[S_n]$  for object material 112 comprising an isotropic medium, e.g., fused silica, with a surface flat to  
5 requisite accuracy.

The first variant of the first embodiment has the advantage of a heterodyne detection system.

The remaining description of the first variant of the first embodiment is the same as corresponding portions of the description given for the first embodiment.  
10 Additional reflection and/or scattering properties of object material 112 may be obtained by a second embodiment of the present invention wherein near-field probe beams are used that are different from the near-field probe beams used in the first embodiment because the measurement beam is incident on mask element 28 at an angle, as shown in FIG. 2a, where the measurement beam passes through lens 124A in  
15 order to contact mask element 28.

A first portion of the measurement beam incident on sub-wavelength apertures 30 is transmitted as a modified near-field probe beam. The primary difference between the modified near field probe beam of the second embodiment and the near-field probe beam of the first embodiment is a difference in near-field multipole composition. The  
20 near-field multipole composition of a near-field probe beam of the first embodiment comprises a significant near-field term associated with a magnetic dipole located at a corresponding aperture of apertures 30.

The near-field multipole composition of a near-field probe beam of the second embodiment comprises significant near-field terms associated with both magnetic  
25 dipoles and an electric dipole located at a corresponding aperture of apertures 30 [see J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics*, Chapter 9, 2<sup>nd</sup> Ed. (Wiley-New York) (1975); "Diffraction Theory," C. J. Bouwkamp, *Reports on Progress in Physics*, 17, pp. 35-100, ed. A. C. Strickland, The Physical Society (1954)]. Because of differences in spatial properties of near-fields associated with a magnetic dipole and spatial properties of  
30 near-fields associated with an electric dipole (see FIG. 2b for distributions of certain components of electric fields associated with magnetic dipole aligned to the plane of conducting element 28 and electric dipole orientated orthogonal to the plane of

WO 02/10828

PCT/US01/23656

conducting element 28), the complex amplitude of the near-field return probe beam measured by the second embodiment is different from the complex amplitude of the near-field return probe beam measured by the first embodiment. As a consequence, the complex amplitude of the near-field return probe beam measured by the second  
5 embodiment represents an "image" of a three dimensional volume section of object material 112 that is different from a corresponding image of object material 112 represented by the complex amplitude of the near-field return probe beam measured by the first embodiment.

The remaining description of the second embodiment is the same as  
10 corresponding portions of the description given for the first embodiment.

Further embodiments of the invention include adapting the systems described above to operate in a transmission mode. Once such embodiment is shown in FIG. 5.

Many elements of the embodiment shown in FIG. 5 perform similar functions as elements of the earlier embodiment and are indicated in FIG. 5 with the same  
15 element numbers as corresponding elements of the first embodiment shown in FIG. 1.

Beam 20 is incident on non-polarizing beam splitter 102, and a first portion thereof is transmitted as measurement beam 22T. Measurement beam 22T is next reflected by mirror 92 and then focused to a spot on substrate 112T after reflection by mirror 90. Substrate 112T comprises a transparent substrate at the wavelength of beam  
20 20 and an array of wavelength and/or sub-wavelength apertures corresponding to apertures 30 of the first embodiment. A portion of measurement beam 22T focused to the spot is transmitted by the sub-wavelength apertures 30 as an array of near-field probe beams. The description of the sub-wavelength apertures 30 is the same as the corresponding portion of the description given for the array of sub-wavelength  
25 apertures 30 of the first embodiment. The diameter of the spot is large enough span the array of sub-wavelength apertures 30.

Sample 25 to be examined by the array of near-field beams is placed on the flat surface of Amici type lens 26T. The array of near-field probe beams is transmitted by sample 25 as a transmitted beam 34 corresponding to beam 34 of the first embodiment  
30 with respect to subsequent processing by the apparatus of the fifth embodiment.

A second portion of beam 20 is reflected by mirror 102 as reference beam 50T, as shown in FIG. 5. Reference beam 50T is transmitted through an aperture in lens 60 as reference beam 52 after reflection by mirrors 94A, 94B, and 94C. The description of

WO 02/10828

PCT/US01/23656

reference beam 52 is the same as corresponding portions of the description given for beam 52 of the first embodiment.

Furthermore in additional embodiments, radiation directed through the periphery apertures 2030 may be at a different wavelength than that of the measurement apertures 30.

Other aspects, advantages, and modifications are within the scope of the following claims.

10

WO 02/10828

PCT/US01/23656

What is claimed is:

1. An interferometric optical microscopy system for imaging an object, the system comprising:
  - a beam splitter positioned to separate an input beam into a measurement beam  
5 and a reference beam;
  - a measurement beam source array positioned to receive the measurement beam, the measurement beam source array comprising a mask having an array of measurement apertures and a control aperture adjacent one of the measurement apertures, wherein the control aperture has transverse dimensions larger than the  
10 transverse dimensions of the adjacent measurement aperture, and wherein each of the measurement apertures and the control aperture is configured to radiate a portion of the measurement beam to the object, the object interacting with the radiated measurement beam portions to direct signal radiation back through the measurement apertures to define a measurement return beam,
  - 15 wherein the transverse dimensions of the control aperture cause the signal radiation directed back through the measurement aperture adjacent the control aperture to be dominated by radiation derived from the control aperture;
  - a reference beam source array positioned to receive the reference beam, the reference beam source array comprising an array of elements each configured to radiate  
20 a portion of the reference beam, the radiated reference beam portions defining a reference return beam;
  - a multi-element photo-detector;
  - imaging optics positioned to direct the measurement and reference return beams to the photo-detector and configured to produce overlapping conjugate images of the  
25 array of reference elements and the array of measurement apertures on the photo-detector, wherein the conjugate image for each measurement aperture overlaps with the conjugate image of a corresponding reference element to produce an optical interference signal indicative of a particular region of the object.
- 30 2. The system of claim 1, further comprising:
  - a positioning system for supporting the object relative to the measurement beam source array; and

WO 02/10828

PCT/US01/23656

an electronic controller coupled to the photo-detector and the positioning system, wherein during operation the electronic controller causes the positioning system to adjust the separation between the measurement beam source array and the object in response to a control signal derived from the interference signal corresponding  
5 to the measurement aperture adjacent the control aperture.

3. The system of claim 1, wherein the control aperture is located at the periphery of the array of measurement apertures.

10 4. The system of claim 1, wherein the mask comprises multiple control apertures each adjacent one of the measurement apertures, and wherein each control aperture has transverse dimensions larger than the transverse dimensions of the corresponding adjacent measurement aperture.

15 5. The system of claim 4, wherein the multiple control apertures surround the periphery of the array of the measurement apertures.

20 6. The system of claim 1, further comprising a source for providing the input beam.

7. The system of claim 6, wherein each of the measurement apertures has a transverse dimension less than a vacuum wavelength of the input beam provided by the source.

25 8. The system of claim 6, wherein the control aperture has a transverse dimension greater than or equal to the vacuum wavelength of the input beam.

30 9. The system of claim 3, wherein an end adjacent the object of each measurement aperture other than the measurement aperture adjacent the control aperture lie in a first common plane, and wherein an end adjacent the object of each of the control aperture and the measurement aperture adjacent the control aperture is displaced relative to the first common plane.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

10. The system of claim 9, wherein the ends of the control aperture and the measurement aperture adjacent the control aperture lie in a second common plane parallel to the first common plane.

5 11. The system of claim 10, further comprising a source providing the input beam, and wherein the input beam comprises a wavelength and the first common plane is displaced from the second common plane by an amount equal to about twice the wavelength.

10 12. The system of claim 1, further comprising a pinhole array positioned adjacent the photo-detector, wherein each pinhole is aligned with a separate set of one or more detector elements, and wherein the imaging system causes the conjugate image for each measurement aperture to align with a corresponding pinhole of the pinhole array.

15 13. The system of claim 1,  
wherein the mask in the measurement beam source array further comprises an array of measurement scattering elements, wherein each measurement scattering element is adjacent a corresponding one of the measurement apertures and has  
20 transverse dimensions comparable to the corresponding measurement aperture, and wherein each measurement scattering element scatters a portion of the measurement beam, the measurement return beam further comprising the portions of the measurement beam scattered by the measurement scattering elements, and  
wherein the imaging optics are further configured to produce a conjugate image  
25 of the array of measurement scattering elements that overlaps with the conjugate image of the array of reference elements, wherein the conjugate image for each measurement scattering element overlaps with the conjugate image of a corresponding reference element to produce an optical interference signal indicative of scattering from the adjacent measurement aperture.

30 14. The system of claim 13, wherein the control aperture is located at the periphery of the array of measurement apertures, and wherein an end adjacent the object of each measurement aperture and each measurement scattering element other

WO 02/10828

PCT/US01/23656

than the measurement aperture adjacent the control aperture and the measurement scattering element adjacent the measurement aperture adjacent the control aperture lie in a first common plane, and wherein an end adjacent the object of each of the control aperture, the measurement aperture adjacent the control aperture, and the measurement scattering site adjacent the measurement aperture adjacent the control aperture is displaced relative to the first common plane.

15. The system of claim 14, wherein the ends of the control aperture and the measurement aperture adjacent the control aperture lie in a second common plane parallel to the first common plane.

16. The system of claim 15, further comprising a source providing the input beam, and wherein the input beam comprises a wavelength and the first common plane is displaced from the second common plane by an amount equal to about twice the wavelength.

17. The system of claim 13, further comprising:  
a positioning system for supporting the object relative to the measurement beam source array; and  
an electronic controller coupled to the photo-detector and the positioning system, wherein during operation the electronic controller causes the positioning system to adjust the separation between the measurement beam source array and the object in response to a control signal derived from the interference signal corresponding to the measurement aperture adjacent the control aperture and the interference signal corresponding to the measurement scattering site adjacent the measurement aperture adjacent the control aperture.

18. The system of claim 13, further comprising a pinhole array positioned adjacent the photo-detector, wherein each pinhole is aligned with a separate set of one or more detector elements, and wherein the imaging system causes the conjugate image for each measurement aperture and each measurement scattering element to align with a corresponding pinhole of the pinhole array.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

19. The system of claim 1, wherein each reference element comprises a reflective element.

20. The system of claim 1, wherein each reference element comprises a  
5 transmissive aperture.

21. A source array for illuminating an object, the source array comprising:  
a mask positioned to receive a measurement beam, the mask having an array of  
source apertures and a control aperture adjacent one of the source apertures, wherein  
10 the control aperture has transverse dimensions larger than the transverse dimensions of  
the adjacent source aperture, and wherein each of the source apertures and the control  
aperture is configured to radiate a portion of the measurement beam to the object, the  
object interacting the radiated measurement beam portion from the control aperture to  
direct control signal radiation back through the source aperture adjacent the control  
15 aperture.

22. A system for illuminating an object, the system comprising:  
the source array of claim 21;  
a positioning system for supporting the object relative to the source array; and  
20 an electronic controller coupled to the positioning system, wherein during  
operation the electronic controller causes the positioning system to adjust the separation  
between the measurement beam source array and the object in response to a control  
signal based on an interference signal derived from the control signal radiation.

23. The source array of claim 21, wherein the control aperture is located at the  
25 periphery of the array of source apertures.

24. The source array of claim 21, wherein the mask comprises multiple control  
apertures each adjacent one of the source apertures, and wherein each control aperture  
30 has transverse dimensions larger than the transverse dimensions of the corresponding  
adjacent source aperture.

WO 02/10828

PCT/US01/23656

25. The source array of claim 24, wherein the multiple control apertures surround the periphery of the array of the source apertures.

26. The source array of claim 21, further comprising a source for providing the measurement beam.

27. The source array of claim 26, wherein each of the source apertures has a transverse dimension less than a vacuum wavelength of the measurement beam provided by the source.

28. The source array of claim 26, wherein the control aperture has a transverse dimension greater than or equal to the vacuum wavelength of the input beam.

29. The source array of claim 23, wherein an end adjacent the object of each source aperture other than the source aperture adjacent the control aperture lie in a first common plane, and wherein an end adjacent the object of each of the control aperture and the source aperture adjacent the control aperture is displaced relative to the first common plane.

30. The source array of claim 29, wherein the ends of the control aperture and the source aperture adjacent the control aperture lie in a second common plane parallel to the first common plane.

31. The source array of claim 21, wherein the mask further comprises an array of source scattering elements, wherein each source scattering element is adjacent a corresponding one of the source apertures and has transverse dimensions comparable to the corresponding source aperture.

32. A method for illuminating an object with multiple sources, the method comprising:

positioning a mask adjacent the object, wherein the mask has an array of source apertures and a control aperture having transverse dimensions greater than the transverse dimensions of each of the source apertures;

WO 02/10828

PCT/US01/23656

- directing radiation to the mask to cause each of the source apertures and the control aperture to radiate a portion of the radiation to the object;
- producing an optical interference signal derived from radiation directed to the object from the control aperture; and
- 5 repositioning the mask relative to the object in response to a control signal derived from the optical interference signal.

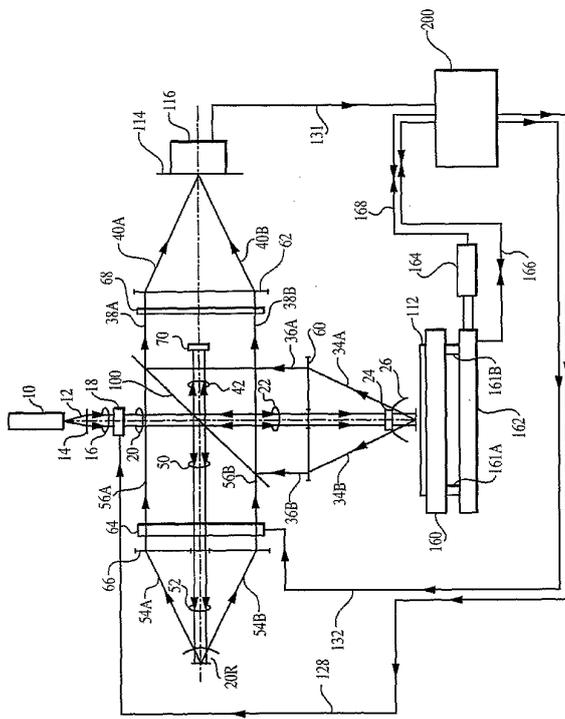


FIG. 1

2/6

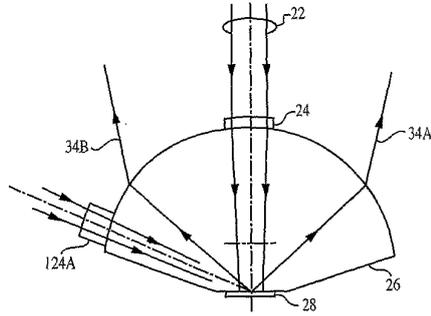


FIG. 2a

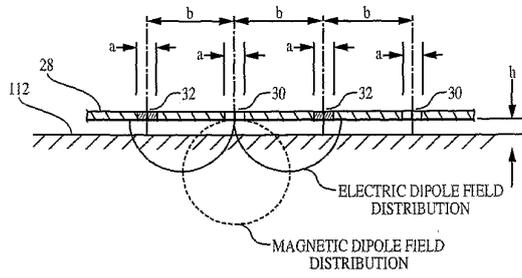


FIG. 2b

3/6

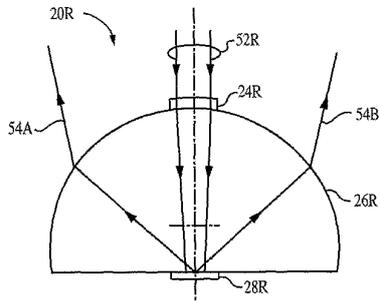


FIG. 2c

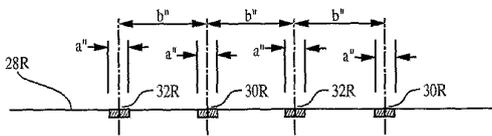


FIG. 2d

4/6

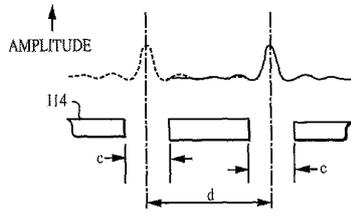


FIG. 3

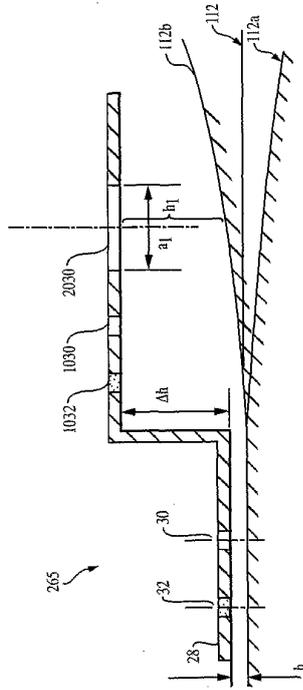


FIG. 4

6/6

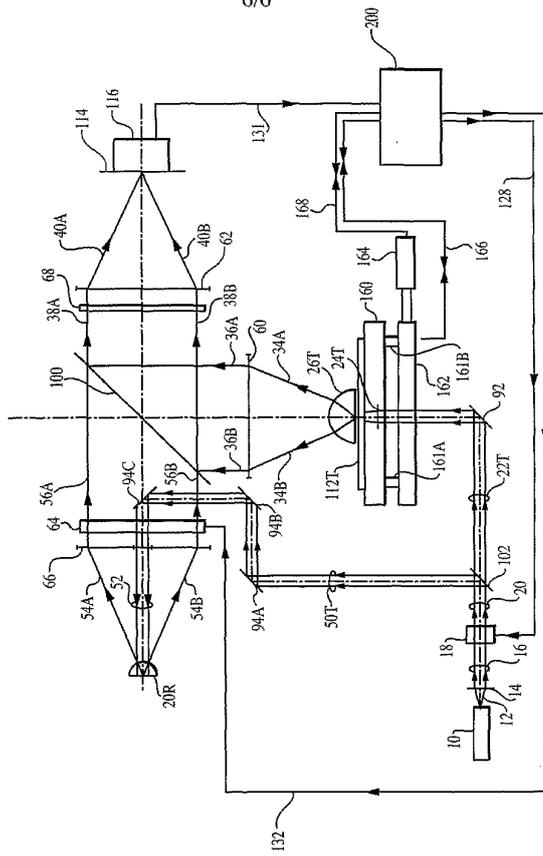


FIG. 5

【国際公開パンフレット(コレクトバージョン)】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
7 February 2002 (07.02.2002)

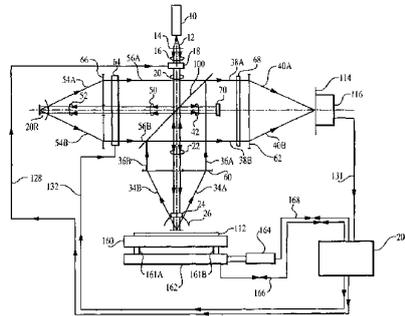
PCT

(10) International Publication Number  
WO 02/010828 A3

- (51) International Patent Classification: **G02B 21/00**,  
G12B 21/06
- (72) Inventor; and  
(75) Inventor/Applicant (for US only): **HILL, Henry, Allen**  
[US/US]; 340 S. Avenida de Palmas, Tucson, AZ 85716  
(US).
- (21) International Application Number: PCT/US01/23656
- (74) Agent: **PRAHL, Eric, L.**; Fish & Richardson, P.C., 255  
Franklin Street, Boston, MA 02110-2804 (US).
- (22) International Filing Date: 27 July 2001 (27.07.2001)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:  
60/221,287 27 July 2000 (27.07.2000) US
- (63) Related by continuation (CON) or continuation-in-part  
(CIP) to earlier application:  
US 60/221,287 (CIP)  
Filed on 27 July 2000 (27.07.2000)
- (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU,  
AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ,  
DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GR, GM, HR,  
HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,  
LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ,  
NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM,  
KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian  
patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European  
patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE,  
IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF,  
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD,  
TG).
- (71) Applicant (for all designated States except US):  
**ZETETIC INSTITUTE**, [US/US]; Suite 206, 1665  
E. 18th Street, Tucson, AZ 85716 (US).

[Continued on next page]

(54) Title: CONTROL OF POSITION AND ORIENTATION OF SUB-WAVELENGTH APERTURE ARRAY IN NEAR-FIELD MICROSCOPY



(57) Abstract: Systems and methods for near-field, interferometric microscopy are disclosed in which a mask having an array of sub-wavelength apertures is used to couple near-field probe beams to a sample. The periphery of the mask further includes one or more larger apertures to couple light to the sample that forms the basis of an interferometric signal indicative of the relative distance between the mask and the sample. The interferometric signal can be the basis of a control signal in a servo system that dynamically positions the mask relative to the sample.

WO 02/010828 A3

**WO 02/010828 A3** 

**Published:**  
— with international search report

*For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.*

**(88) Date of publication of the international search report:**  
3 January 2003

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No PCT/US 01/23656
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 G02B21/00 G12B21/06		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G02B G12B G11B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) PAJ, EPO-Internal, INSPEC		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 4 659 429 A (LEWIS AARON ET AL) 21 April 1987 (1987-04-21) column 6, line 34 - line 63; figure 1	21,23-27 1-20,22, 28-32
X A	DE 198 58 490 A (LASER & MED TECH GMBH) 21 June 2000 (2000-06-21) abstract; figures 1,2 --- -/--	21,23-27 1-20,22, 28-32
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *C* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed **A* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *Z* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 27 September 2002		Date of mailing of the international search report 07/10/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. 5518 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Ward, S

1

Form PCT/ISA210 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/US 01/23656

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	"PHASE CONTRAST AND AMPLITUDE PSEUDOHETERODYNE INTERFERENCE NEAR FIELD SCANNING OPTICAL MICROSCOPY" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, US, vol. 62, no. 10, 8 March 1993 (1993-03-08), pages 1044-1046, XP000345970 ISSN: 0003-6951 abstract; figures	1-32
A	PILEVAR S ET AL: "REFLECTION NEAR-FIELD SCANNING OPTICAL MICROSCOPY: AN INTERFEROMETRIC APPROACH" ULTRAMICROSCOPY, AMSTERDAM, NL, vol. 61, no. 1/4, December 1995 (1995-12), pages 233-236, XP000978294 ISSN: 0304-3991 abstract; figures	1-32
A	US 5 371 588 A (DAVIS CHRISTOPHER C ET AL) 6 December 1994 (1994-12-06) abstract; figures	1-32
A	EP 0 757 271 A (IBM) 5 February 1997 (1997-02-05) abstract; figures	1-32

1

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1999)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
Information on patent family members

International Application No.  
PCT/US 01/23656

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4659429	A	21-04-1987 US 4662747 A	05-05-1987
DE 19858490	A	21-06-2000 DE 19858490 A1	21-06-2000
US 5371588	A	06-12-1994 NONE	
EP 0757271	A	05-02-1997	
		US 5623338 A	22-04-1997
		US 5646731 A	08-07-1997
		US 5623339 A	22-04-1997
		EP 0757271 A2	05-02-1997
		JP 3290356 B2	10-06-2002
		JP 9049849 A	18-02-1997
		JP 3290357 B2	10-06-2002
		JP 9138239 A	27-05-1997
		JP 3290358 B2	10-06-2002
		JP 9049851 A	18-02-1997

---

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZW