

(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2006-507520

(P2006-507520A)

(43) 公表日 平成18年3月2日(2006.3.2)

(51) Int.CI.

F 1

テーマコード(参考)

GO2B 21/36	(2006.01)	GO2B 21/36
GO1N 29/06	(2006.01)	GO1N 29/06
GO1N 29/24	(2006.01)	GO1N 29/24
GO2B 21/00	(2006.01)	GO2B 21/00

2 GO 4 7

2 H O 5 2

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2004-543701 (P2004-543701)
(86) (22) 出願日	平成15年10月8日 (2003.10.8)
(85) 翻訳文提出日	平成17年4月6日 (2005.4.6)
(86) 國際出願番号	PCT/US2003/032259
(87) 國際公開番号	W02004/032722
(87) 國際公開日	平成16年4月22日 (2004.4.22)
(31) 優先権主張番号	10/267, 237
(32) 優先日	平成14年10月8日 (2002.10.8)
(33) 優先権主張国	米国(US)

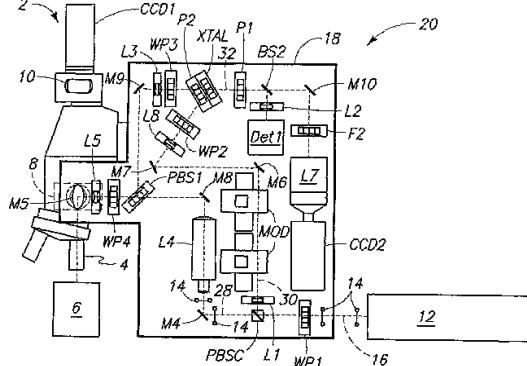
(71) 出願人	501445988 ベクテル ビーダブリューエックスティー アイダホ エルエルシー
	アメリカ合衆国 アイダホ州 83415 -3899 アイダホ フォールズ ピー オ一 ボックス 1625
(74) 代理人	100085785 弁理士 石原 昌典
(72) 発明者	ディーソン, ヴァンス, エイ. アメリカ合衆国, アイダホ州 8340 4, アイダホ フォールズ, イースト 25ス ストリート 265

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】撮像システム

(57) 【要約】

顕微鏡対物レンズ視野内の振動対象物表面部分上へ目的波面を指向し、視野内表面部分から反射された変調目的波面を光屈折性材料中へ指向するようにそれぞれ配置された目的波面供給源及び光学顕微鏡対物レンズと、基準波面を位相変調器中へ指向し、及び位相変調器からの変調基準波面を光屈折性材料中へ指向して変調目的波面との干渉を起こすようにそれぞれ配置された基準波面供給源及び少なくとも1台の位相変調器とを備える撮像システム。光屈折性材料は、変調目的波面と変調基準波面との干渉が光屈折性材料内で起こり、顕微鏡対物レンズ視野内表面部分の全視野リアルタイム画像信号を生成するような組成を有し且つ位置にある。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

対象物振動面を照らす目的波面を作り出し、かつ前記振動面から反射される変調目的波面を所定方向へ指向する光学顕微鏡撮像手段と、

光屈折性材料中において基準波面と前記変調目的波面との干渉を起こし、及び前記振動面の全視野リアルタイム画像信号を生成する光屈折復調手段を備える撮像システム。

【請求項 2】

前記振動面の単一点リアルタイム信号を選択的に生成する切換手段をさらに含むことを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 3】

前記光学顕微鏡撮像手段は、前記目的波面が振動面を照らす前に目的波面を拡げる波面エキスパンダ手段を含むことを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 4】

前記光学顕微鏡撮像手段は光学顕微鏡を含み、前記光学顕微鏡にはレーザポートが設けられ、前記目的波面が前記レーザポートを通して前記光学顕微鏡へ入り、及び前記変調目的波面が前記レーザポートを通して光学顕微鏡から出ることを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 5】

前記光学顕微鏡撮像手段は光学顕微鏡を含み、前記光学顕微鏡にはレーザポート及び照明器ポートが設けられ、前記目的波面が前記レーザポートを通して前記光学顕微鏡へ入り、及び前記変調目的波面が前記照明器ポートを通して光学顕微鏡から出ることを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 6】

前記光学顕微鏡撮像手段は、前記光学顕微鏡とは別に顕微鏡光学部品効果を補償する補償レンズをさらに含み、前記変調目的波面が顕微鏡から出た後でかつ基準波面との干渉を起こす前に前記補償レンズを通過することを特徴とする請求項 5 記載のシステム。

【請求項 7】

前記光屈折復調手段は撮像レンズを含み、前記変調目的波面が前記光屈折性材料へ到達する前に前記撮像レンズを通過することを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 8】

前記光屈折復調手段は第一及び第二の 1 / 2 波長板を含み、前記基準波面と変調目的波面が干渉を起こす前に前記第一及び第二 1 / 2 波長板をそれぞれ通過することを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 9】

前記光屈折復調手段は線形偏光プリズムを含み、前記基準波面及び変調目的波面双方が干渉を起こす前に前記プリズムを通過することを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 10】

単一点リアルタイム信号を生成すると同時に検量線作成を行う検量線作成手段をさらに含むことを特徴とする請求項 2 記載のシステム。

【請求項 11】

前記基準波面及び目的波面のそれぞれにレーザビームが含まれることを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 12】

少なくとも約 1 GHz の音響周波数を作用させる振動手段をさらに含むことを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 13】

画像信号取得サブシステムをさらに含むことを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 14】

線形偏光プリズム及び強度調節フィルターをさらに含み、画像信号が取得される前に画像信号が前記プリズム及びフィルターを通過することを特徴とする請求項 11 記載のシ

10

20

30

40

50

テム。

【請求項 15】

顕微鏡対物レンズ視野内の振動対象物表面部分上へ目的波面を指向し、及び前記視野内表面部分から反射される変調目的波面を光屈折性材料中へ指向するようにそれぞれ配置された目的波面供給源及び光学顕微鏡対物レンズと、

基準波面を位相変調器中へ指向し、及び前記位相変調器からの変調基準波面を前記光屈折性材料中へ指向して前記変調目的波面との干渉を起こすようにそれぞれ配置された基準波面供給源及び少なくとも1台の位相変調器と、

前記変調目的波面と変調基準波面との干渉が前記光屈折性材料中で起こり、前記視野内表面部分の全視野リアルタイム画像信号が生成されるような組成を有し且つ位置にある光屈折性材料を備える撮像システム。10

【請求項 16】

前記振動面の単一点リアルタイム信号を代わって生成するために、前記目的波面の通路から選択的に取り外すことができる切換レンズをさらに含むことを特徴とする請求項14記載のシステム。

【請求項 17】

波面エキスパンダをさらに含み、前記目的波面を前記波面エキスパンダ中へ向け、及び前記波面エキスパンダからの拡大された目的波面を前記視野内表面部分上へ向けるようにシステム構成部品が配置されていることを特徴とする請求項14記載のシステム。

【請求項 18】

顕微鏡対物レンズを含む光学顕微鏡の入口開口に実質的に合致するように前記目的波面が拡大されることを特徴とする請求項17記載のシステム。

【請求項 19】

前記目的波面が前記顕微鏡対物レンズを通過することを特徴とする請求項14記載のシステム。

【請求項 20】

前記光学顕微鏡対物レンズがレーザポートを備える光学顕微鏡から構成され、前記目的波面が前記レーザポートを通って前記顕微鏡へ入り、及び前記変調目的波面が前記レーザポートを通って前記顕微鏡から出ることを特徴とする請求項14記載のシステム。

【請求項 21】

前記光学顕微鏡対物レンズがレーザポートを備える光学顕微鏡から構成され、前記目的波面が前記レーザポートを通って前記顕微鏡へ入り、及び前記変調目的波面が外側照明器ポートを通って前記顕微鏡から出ることを特徴とする請求項14記載のシステム。

【請求項 22】

前記光学顕微鏡とは別に、顕微鏡光学部品効果を補償する補償レンズをさらに含み、前記変調目的波面が、前記顕微鏡から出た後であって且つ前記変調基準波面との干渉を起こす前に、前記補償レンズを通過することを特徴とする請求項21記載のシステム。

【請求項 23】

さらに撮像レンズを含み、前記変調目的波面が前記光屈折性材料へ到達する前に、前記撮像レンズを通過することを特徴とする請求項14記載のシステム。

【請求項 24】

さらに第一1/2波長板及び第二1/2波長板を含み、前記変調目的波面及び変調基準波面がそれぞれ前記第一及び第二1/2波長板を通過して、前記光屈折性材料に入る回転かつ変調された目的波面及び基準波面を与えることを特徴とする請求項14記載のシステム。

【請求項 25】

前記目的波面供給源及び基準波面供給源が共同して初期波面エミッタ、第三1/2波長板及び偏光波面スプリッターを各1台含み、これらエミッタ、波長板及びスプリッターのすべてが、初期波面を前記偏光波面スプリッター中へ向け、及び前記1/2波長板からの回転された初期波面を前記偏光波面スプリッター中へ向けて前記目的波面及び基準波面を

10

20

30

40

50

与え、及び前記目的波面及び基準波面の相対強度を制御するように配置されることを特徴とする請求項 1 4 記載のシステム。

【請求項 2 6】

前記変調目的波面及び変調基準波面の双方が前記光屈折性材料へ入る直前に線形偏光プリズムを通過するように前記光屈折性材料と関連した線形偏光プリズムをさらに含むことを特徴とする請求項 1 4 記載のシステム。

【請求項 2 7】

前記位相変調器の駆動信号を変調する振幅変調器を少なくとも 1 台備える検量線作成機構をさらに含み、前記変調基準波面の測波帯信号を 2 つ生成し、前記 2 つの測波帯信号が前記光屈折性材料中において干渉を起こして検量線作成出力信号を作り出すことを特徴とする請求項 1 4 記載のシステム。 10

【請求項 2 8】

前記基準波面及び目的波面のそれぞれにレーザビームが含まれることを特徴とする請求項 1 4 記載のシステム。

【請求項 2 9】

少なくとも約 1 G H z の音響周波数を付与するように構成された振動機構をさらに含むことを特徴とする請求項 1 4 記載のシステム。

【請求項 3 0】

全視野画像信号を取得するための C C D カメラ及び単一点信号を取得するための検出器の双方をさらに含むことを特徴とする請求項 1 4 記載のシステム。 20

【請求項 3 1】

画像信号が前記 C C D カメラによって取得される前に画像信号が通過する高消光性線形偏光プリズム及び強度調節フィルターに加えて、 C C D カメラをさらに含むことを特徴とする請求項 1 4 記載のシステム。

【請求項 3 2】

目的波面を、対物レンズを通して、顕微鏡対物レンズ視野内の振動対象物表面部分上へ指向し、及び前記視野内表面部分から反射された変調目的波面を光屈折性材料中へ指向するようにそれぞれ配置された目的波面供給源及び光学顕微鏡対物レンズと、

基準波面を前記光屈折性材料中へ指向して前記変調目的波面との干渉を起こすように配置された基準波面供給源と、 30

前記変調目的波面と基準波面との干渉を前記光屈折性材料中で起こして前記視野内表面部分の全視野リアルタイム画像信号を生成するような組成を有し且つ位置にある前記光屈折性材料と、

前記振動面の単一点リアルタイム信号を代わりに生成するように、前記目的波面の通路から選択的に取り外すことができる切換レンズとを備える撮像システム。

【請求項 3 3】

位相変調器を少なくとも 1 台さらに含み、前記光屈折性材料中へ向けられた前記基準波面が、前記位相変調器からの変調基準波面を含むことを特徴とする請求項 3 1 記載のシステム。

【請求項 3 4】

波面エキスパンダをさらに含み、前記目的波面を前記波面エキスパンダ中へ向け、及び前記波面エキスパンダからの拡大された目的波面を前記視野内表面部分上へ向けて前記全視野信号を得るようにシステム部品が配置され、前記切換レンズが単一点信号を得るために前記拡大された目的波面の通路から選択的に取り外すことができることを特徴とする請求項 3 1 記載のシステム。 40

【請求項 3 5】

撮像レンズをさらに含み、前記変調目的波面が前記光屈折性材料へ到達する前に前記撮像レンズを通過することを特徴とする請求項 3 1 記載のシステム。

【請求項 3 6】

第一 1 / 2 波長板及び第二 1 / 2 波長板をさらに含み、前記変調目的波面及び変調基準

10

20

30

40

50

波面がそれぞれ前記第一波長板及び第二 $1/2$ 波長板を通過して、前記光屈折性材料へ入る回転かつ変調された目的波面及び基準波面を与えることを特徴とする請求項33記載のシステム。

【請求項37】

前記変調目的波面及び変調基準波面の双方が前記光屈折性材料へ入る直前に線形偏光プリズムを通過するように前記光屈折性材料と関連した前記線形偏光プリズムをさらに含むことを特徴とする請求項33記載のシステム。

【請求項38】

載置台上の対象物表面へ少なくとも約1GHzの音響周波数での振動動作を付与するために前記台と関連して配置された振動機構と、

目的波面を顕微鏡対物レンズを通して顕微鏡対物レンズ視野内の振動対象物表面部分上へ指向し、及び前記視野内表面部分から反射された変調目的波面を光屈折性材料中へ指向するようにそれぞれ配置された目的波面供給源及び光学顕微鏡対物レンズと、

基準波面を前記光屈折性材料中へ指向して前記変調目的波面との干渉を起こすように配置された基準波面供給源と、

前記変調目的波面と変調基準波面との干渉が前記光屈折性材料中で起こり前記視野内表面部分の全視野リアルタイム画像信号を生成するような組成を有し且つ位置にある前記光屈折性材料とを備える撮像システム。

【請求項39】

少なくとも1台の位相変調器をさらに含み、前記光屈折性材料中へ向けられた前記基準波面が、前記位相変調器からの変調基準波面を含むことを特徴とする請求項37記載のシステム。

【請求項40】

波面エキスパンダをさらに含み、前記目的波面を前記波面エキスパンダ中へ向け、及び前記波面エキスパンダからの拡大された目的波面を前記視野内表面部分上へ向けるようにシステム部品が配置されることを特徴とする請求項37記載のシステム。

【請求項41】

撮像レンズをさらに含み、前記変調目的波面が前記光屈折性材料へ到達する前に前記撮像レンズを通過することを特徴とする請求項37記載のシステム。

【請求項42】

第一 $1/2$ 波長板及び第二 $1/2$ 波長板をさらに含み、前記変調目的波面及び変調基準波面がそれぞれ前記第一波長板及び第二 $1/2$ 波長板を通過して、前記光屈折性材料へ入る回転かつ変調された目的波面及び基準波面を生成することを特徴とする請求項39記載のシステム。

【請求項43】

前記変調目的波面及び変調基準波面が前記光屈折性材料へ入る直前に線形偏光プリズムを通過するように前記光屈折性材料と関連した前記線形偏光プリズムをさらに含むことを特徴とする請求項39記載のシステム。

【請求項44】

目的ビームをビームエキスパンダ中へ向け、及び前記ビームエキスパンダからの拡大された目的ビームを顕微鏡対物レンズを通して顕微鏡対物レンズ視野内の振動対象物表面部分上へ指向するようにそれぞれ配置された目的ビーム供給源、ビームエキスパンダ及び光学顕微鏡対物レンズと、

前記視野内表面部分から反射された変調目的ビームを撮像レンズ中へ指向し、前記撮像レンズからの調節された変調目的ビームを第一 $1/2$ 波長板中へ指向し、及び前記第一波長板からの回転かつ調節された変調目的ビームを光屈折性材料中へ指向するようにそれぞれ配置された撮像レンズ及び第一 $1/2$ 波長板と、

基準ビームを位相変調器中へ指向し、前記位相変調器からの変調基準ビームを第二 $1/2$ 波長板中へ指向し、及び前記第二 $1/2$ 波長板からの回転された変調基準ビームを前記光屈折性材料中へ指向して前記回転かつ調節された変調目的ビームとの干渉を起こすよう

にそれぞれ配置された基準ビーム供給源、少なくとも1台の位相変調器、及び第二1/2波長板と、

前記ビームの干渉が前記光屈折性材料中で起こり前記視野内表面部分の全視野リアルタイム画像信号を生成するような組成を有し且つ位置にある前記光屈折性材料とを備える撮像システム。

【請求項45】

載置台上の対象物表面へ少なくとも約1GHzの音響周波数での振動動作を付与するために前記台と関連して配置された振動機構と、

目的波面をビームエキスパンダ中へ指向し、及び前記ビームエキスパンダからの拡大された目的ビームを顕微鏡対物レンズを通して顕微鏡対物レンズ視野内の振動対象物表面部分上へ指向するようにそれ配置された目的ビームレーザ源、ビームエキスパンダ及び光学顕微鏡対物レンズと、

前記視野内表面部分から反射された変調目的ビームを撮像レンズ中へ指向し、前記撮像レンズからの調節された変調目的ビームを第一1/2波長板中へ指向し、及び前記第一1/2波長板からの回転かつ調節された変調目的ビームを光屈折性材料中へ指向するようにそれ配置された撮像レンズ及び第一1/2波長板と、

基準ビームを位相変調器中へ指向し、前記位相変調器からの変調基準ビームを第二1/2波長板中へ指向し、及び前記第二1/2波長板からの回転された変調基準ビームを前記光屈折性材料中へ指向して前記回転かつ調節された変調目的ビームとの干渉を起こすようにそれ配置された基準ビーム供給源、少なくとも1台の位相変調器、及び第二1/2波長板と、

前記ビームの干渉が前記光屈折性材料中で起こり前記視野内表面部分の全視野リアルタイム画像信号を生成するような組成を有し且つ位置にある前記光屈折性材料と、

前記振動面の単一点リアルタイム信号を代わって生成するために、前記拡大された目的ビームの通路から選択的に取り外すことができる切換レンズとを備える撮像システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は広義には材料の検査及び特徴付け装置及び方法に関し、より詳細には光学顕微鏡装置との組合せによる材料の超音波撮像に関する。本発明はさらに検査システム検量線作成方法に関する。本特許出願は、2002年10月8日付けで出願された米国特許出願第10/267,237号、発明の名称「撮像システム」に基づく優先権を主張する。

【背景技術】

【0002】

用語「音響顕微鏡」とは、一般的に高周波超音波を用いて対象物の微細構造及び組成を調べる顕微鏡を言う。この顕微鏡には伝統的なパルス／エコー技術が用いられてきた。音響振幅及び位相の測定は、接触型超音波探針あるいは顕微鏡を介した光学干渉計を用いて行われてきた。対象面上の特定の点ごとのデータが取得され、顕微鏡下で対象物をラスター走査することによって全面にわたる有用画像が積み重ねられてきた。

【0003】

ミクロン規模の機械的特徴、微小電気機械構造物（MEMS）、集積回路、微細構造化材料等の普及が増大している。それに伴って、上記特徴、装置及び材料の表面及び表面下における物理的、機械的、及び欠陥特性を調べる必要性も高まってきている。しかしながら、従来の音響顕微鏡には信頼できる画像を得るために適した分解能がなく、データが個々の分析点から時間を要して集められるため、表面のリアルタイム画像を得ることができず、従って従来技術だけでは実用性に限界があった。

【0004】

Telshow等による「共振子動作のUHF音響顕微鏡による撮像」、2000 IEEE超音波シンポジウム報告、10月22～25日、第1号、631～634頁（2000年）（非特許文献1）には、上記及びその他当業者が認識する音響顕微鏡の欠点を

解消する初めての試みに関する記載がある。Telshow等は、対象物全面上における超音波動作の画像を単一のビデオフレーム内に収めることの望ましさについて認識している。上記論文にはさらに、顕微鏡は用いていないが、メガヘルツ(MHz)周波数での成功例が記載されている。音響波長が短くなればなるほど(周波数が増大するため)、より小さな特徴及び欠陥の検出が可能となる。しかしながら、MHz周波数での撮像が撮像技術において重要な有用性を持つことに関しては未だ開発の初期段階でしかない。

【0005】

従って、音響顕微鏡の基本原理に基づく全視野リアルタイム撮像を達成するための方法及び装置を提供しようとする試みは現在まで実現していない。現在に至るまで改良は為されているものの、当業者をして次に有効な分解能での検査を行うために十分な高周波数を備える顕微鏡撮像へと飛躍させるまでには至っていない。

【0006】

【非特許文献1】Telshow等による「共振子動作のUHF音響顕微鏡による撮像」、2000 IEEE超音波シンポジウム報告、10月22~25日、第1号、631~634頁(2000年)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は撮像システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一態様によれば、撮像システムは、検査対象物の振動面を照らす目的波面を作り出し、かつ前記振動面から反射される変調目的波面を所定方向へ向ける光学顕微鏡撮像手段、及び光屈折性材料中において基準波面と前記変調目的波面との干渉を起こし、かつ前記振動面の全視野リアルタイム画像信号を生成する光屈折復調手段を備えて構成される。

【0009】

本発明の別の態様によれば、撮像システムは、顕微鏡対物レンズの視野内にある振動対象物表面の一定部分上へ目的波面を指向し、かつ前記視野内表面部分から反射された変調目的波面を光屈折性材料中へ指向するようにそれぞれ配置された目的波面供給源及び光学顕微鏡対物レンズと、基準波面を位相変調器中へ指向し、かつ前記位相変調器からの変調基準波面を光屈折性材料中へ指向して前記変調目的波面との干渉を起こすようにそれぞれ配置された基準波面供給源及び少なくとも1台の位相変調器を備えて構成される。前記光屈折性材料は、前記変調目的波面と変調基準波面との干渉が前記光屈折性材料中で起こり、前記視野内表面部分の全視野リアルタイム画像信号を生成するような組成を持ち及び位置にある。

【0010】

本発明のさらに別の態様によれば、撮像システムは、
載置台上の対象物表面へ少なくとも約1GHzの音響周波数で振動動作を付与するよう
に前記載置台に関連して配置された振動機構と、

目的ビームをビームエキスパンダ中へ指向し、かつ前記ビームエキスパンダからの拡大された目的ビームを顕微鏡対物レンズを通して顕微鏡対物レンズ視野内の振動対象物表面の一定部分上へ指向するよう配置された目的ビームレーザ源、ビームエキスパンダ、及び光学顕微鏡対物レンズと、

前記視野内表面部分から反射された変調目的ビームを撮像レンズ中へ指向し、前記撮像レンズからの調節された変調目的ビームを第一1/2波長板中へ指向し、かつ前記第一1/2波長板からの回転かつ調節された変調目的ビームを光屈折性材料中へ指向するよう配置された撮像レンズ及び第一1/2波長板と、

基準ビームを位相変調器中へ指向し、前記位相変調器からの変調基準ビームを第二1/2波長板中へ指向し、かつ前記第二1/2波長板からの回転された変調基準ビームを前記

10

20

30

40

50

光屈折性材料中へ指向して前記回転かつ調節された変調目的ビームとの干渉を起こすようにそれぞれ配置された基準ビームレーザ源、少なくとも1台の位相変調器、及び第二1／2波長板とを備えて構成される。前記光屈折性材料は、前記ビームの干渉が前記光屈折性材料中で起こり、前記視野内表面部分の全視野リアルタイム画像信号を生成するような組成を有し及び位置にある。本システムはさらに、前記振動面の単一点リアルタイム信号を代わって生成するために、前記拡大された目的ビームの通路から選択的に取り外すことができる切換レンズを備える。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

本発明の好ましい実施態様について添付図面を参照しながら以下において説明する。 10

本願において開示する音響顕微鏡の改良によって、MEMS、集積回路、微細構造化の材料開発、一般研究等における工業的規模でのサンプルの物理的、機械的及び欠陥特性の検査に有用な種々の態様が提供されている。上記関連出願の項目中に記載された特許出願及び本願中に引例として取り上げられた特許及び特許出願は、光学顕微鏡を構成部分として用いていない音響撮像における従前の改良に関する背景情報を提供するものである。しかしながら、かかる音響撮像に関する背景的知識は、超音波撮像と光学顕微鏡を組み合わせる本発明の種々態様の背後にある技術用語及び全般的概念を理解する上で有益である。特に、前記背景情報は、レーザ超音波を用いて材料中の音響共振及び音波の全視野リアルタイム画像を与える本発明の種々態様を理解する上で有益である。

【0012】

音響周波数のGHz帯域においては、波長は一般的にミクロン以下であり、かかる波長によって達成可能な分解能が大きく向上される。GHz周波数において作動する装置については本願において具体的に記載されている。上記技術をさらにテラヘルツ帯域まで達する程の高周波数まで拡大できるとする予備的指摘もある。全視野リアルタイムの提供に加えて、本発明の種々態様によって、装置配列及び/または方法に若干の選択的変更を加えて振動面上の単一点から単一点リアルタイム信号を代わって生成できる切換型の構成を提供することも可能である。本願においては、本発明の他の態様に関して特に有用であるが本願では具体的に記載していない技術への適用も可能な、さらに改善された検量線作成方法も記載されている。この検量線作成方法の少なくともいくつかの態様の一つの利点は、検査データの収集と同時に検量線作成データの収集ができる事である。上記音響顕微鏡のストリームライン化された操作により、検査データの信頼性の向上及び所望の画像形成に要する所要時間の削減が確保される。 30

【0013】

本発明の一態様において、撮像システムは、対象物振動面を照らす目的波面を作り出し、かつ前記振動面から反射された変調目的波面を所定方向へ指向する光学顕微鏡撮像手段を備えて構成される。前記光学顕微鏡撮像手段を用いて前記振動面から反射された変調目的波面を収集することも可能である。前記システムには、光屈折性材料中において基準波面の前記変調目的波面との干渉を起こし、かつ前記振動面の全視野リアルタイム画像信号を生成する光屈折復調手段が備えられている。付加的利点として、前記システムには、前記振動面の単一点リアルタイム信号を代わって選択的に生成する切換手段をさらに備えることができる。前記システムに少なくとも約1GHzの音響周波数の処理を行う振動手段が備えられればさらに利点となる。 40

【0014】

切換手段として目的波面（前記変調目的波面を含む）の通路から選択により取り外し可能な交換レンズを備えて前記単一点信号を生成することも可能である。本願の記載においては、全視野リアルタイム画像は「撮像モード」として記載され、単一点リアルタイム信号生成は「点測定モード」として記載している。「検査信号」の生成には両モードが含まれる。従って、「検査システム」には本願記載の撮像システムの他、点測定形式だけで作動するシステム等の他のシステムも含まれる。「単一点」と及び「点測定」が数学的意味での「点」を言っているのではないことは当業者に周知である。 50

【0015】

撮像システムの具体的構成次第では、多様なレンズあるいは他の光学部品との組合せを用いて前記切換機能を果たすことも可能であると考えられる。当業者によって本願記載の光学顕微鏡撮像手段及び光屈折復調手段を備える撮像システムに適合すると考えられる切換手段はいずれも本願記載の切換手段に明らかに含まれる。

【0016】

同程度に有用な検査結果が得られる限り、より複雑な切換手段よりも単純な切換手段の方が好ましいことは容易に認識されるところである。従って、好ましくは所望の特性を備える単純な交換レンズが用いられる。勿論、単一の交換レンズあるいは他の切換手段の適切な選択にあたっては、以下における詳細な説明から容易に理解されるように、他の光学部品、特に光学顕微鏡撮像手段との適合性を考慮しなければならない。10

【0017】

種々の振動手段によつても同様に所望の音響周波数が与えられると考えられる。振動手段は独立型でも、撮像システムの他の構成部分と一体でもよく、あるいは撮像対象そのものに含まれていてもよい。例えば撮像システムに光学顕微鏡載置台のような対象物用の台が備えられている場合には、振動手段はその台と一体であつてもよい。対象物そのものに振動手段が含まれる一例としては、遠距離通信分野における特殊化された信号処理用に開発された超高周波（UHF）超音波共振器がある。1～2GHz周波数帯域における作動は現在可能であり、またより高周波での作動も企図されている。具体例としては表面音波（SAW）装置及びバルク音波共振器（BAR）装置を挙げることができる。GHz周波数での作動は本発明の種々態様において達成されている。20

【0018】

前記光学顕微鏡撮像手段には完全な光学顕微鏡が含まれていてもよい。光学顕微鏡には一般的に顕微鏡対物レンズとともに鏡検対象物表面の拡大画像を得る際に役立つ光学部品一式が備えられている。対象物表面中の音響共振及び音波の画像を得る場合も同様である。光学顕微鏡は種々光学部品の寄せ集めであるため、前記光学顕微鏡撮像手段は、当業者に公知であるかあるいは今後創出される、所望の拡大音響画像を提供する何らかの光学部品の寄せ集めであると解釈してよい。前記光学顕微鏡撮像手段には好ましくは少なくとも顕微鏡対物レンズが含まれる。より好ましくは、前記光学顕微鏡撮像手段には完全な光学顕微鏡が含まれる。前記顕微鏡には目的波面の導入及び導出手段が含まれていてもよい。30

【0019】

振動面を照らす目的波面を生成し、かつ振動面から反射された変調目的波面を所定方向へ向けるように使用できる光学顕微鏡は種々入手可能である。例えば、光学顕微鏡には、目的波面がそれを通つて顕微鏡へ入り、また変調目的波面がそれを通つて顕微鏡から出るレーザポートが含まれていてもよい。あるいは、光学顕微鏡には、目的波面がそれを通つて顕微鏡に入るレーザポートが含まれる他に、変調目的波面が顕微鏡から出る別のポートがさらに含まれていてもよい。

【0020】

照明器ポートは、「エピイルミネーション（外側照明）方式」として知られる方式での対象物の全般的観察のため光源から光を導くために用いられる従来型顕微鏡の一般的構成部分である。前記照明器ポートは顕微鏡対物レンズを通して対象物を照らす。従つて、照明器ポートを変調目的波面にとっての出口ポートとして構成することも可能である。照明器ポートを用いる場合、顕微鏡光学部品の作用効果を補正することが望ましいと考えられる。そのため、光学顕微鏡撮像手段には光学顕微鏡とは別にさらに光学効果を補償する補償レンズを備えることができる。変調目的波面は顕微鏡を出た後であつて光屈折性材料中における前記基準波面との干渉を起こす前にこの補正レンズを通過するように構成できる。しかしながら一例として、補償レンズによって、対象物が観察される対物レンズから光屈折性材料までの距離を、対象物が通常観察される対物レンズから接眼レンズまでの顕微鏡の設定距離よりも広げるように調節可能にしてもよい。40

【0021】

10

20

30

40

50

光学顕微鏡撮像手段は、対象物の振動面を照らす目的波面を作り出す機能と該振動面から反射される変調目的波面を所定方向へ向ける機能の双方を持つため、該顕微鏡撮像手段にはさらに構成部分を含ませることが可能である。例えば、前記顕微鏡撮像手段へ振動面の照明前に目的波面を拡げる波面エキスパンダ手段を含ませてもよい。本発明の一態様においては、前記波面エキスパンダ手段が含まれることにより、目的波面を波面エキスパンダ中へ向けさせ、及び拡げられた目的波面を波面エキスパンダから対象物表面上へ向けさせるように撮像システム部品を配置することが可能である。波面エキスパンダを用いて光学顕微鏡の入口開口とほぼ適合するように目的波面を拡げることも可能である。かかる方法により、光学顕微鏡の視野内の対象物表面部分を最大限可能な範囲まで目的波面で照らすことができる。前記入口開口へ完全に適合させるよりも該入口開口へ単にほぼ適合させる方が望ましいと理解されたい。また、顕微鏡対物レンズの視野全体よりも照明範囲が小さい状況においては、前記入口開口よりも明らかに小さくなる程度に目的波面を拡げてもよい。

10

【0022】

同様に、光屈折性材料中において基準波面の変調目的波面との干渉を起こし、及び振動面の全視野リアルタイム画像信号を生成するために使用される種々構成部品を前記光屈折復調手段に含ませてもよい。一例として、前記光屈折復調手段へ、変調目的波面が光屈折性材料へ到達する前に通過する撮像レンズを含ませてもよい。かかる撮像レンズは光学顕微鏡撮像手段の一部であり、上記補償レンズとは異なる。この撮像レンズは光学顕微鏡撮像手段から波面を収集して光屈折性材料中において画像形成する。

20

【0023】

前記光屈折復調手段には、前記基準波面及び変調目的波面が干渉を起こす前にそれぞれ通過する第一及び第二 $1/2$ 波長板が含まれていてもよい。当業者に公知な、あるいは今後創出される多数の波長板が適合可能である。この意図は、光屈折性材料が整合を必要とする場合、光屈折性材料と適切に整合するように前記基準波面及び変調目的波面の偏光を回転させるためである。酸化ビスマス珪素(BSO)結晶等の光屈折性材料は、基準波面及び目的波面の偏光が好ましい整合にある場合、より有効に機能することができる。同様な偏光整合の理想的状態から逸脱していると、建設的干渉にも破壊的干渉にも関連しないより多量の光が漸進的に生ずる。前記逸脱がなければ、光は信号のノイズに対する比を減少させる遠因となり得る。結晶軸方位との複雑な相互作用によって整合不良な偏光が生じ、それによって所望データから効力を奪う多様な干渉パターン(回析格子)を生ずる可能性がある。このような現象は、加算あるいは引き算によって干渉波中の各点における各成分についての全強度を算出する直交成分へ2つの干渉波の電気ベクトルが分解される電磁波のベクトル作図から理解することができる。

30

【0024】

同様に、前記光屈折復調手段には、前記基準波面及び変調目的波面の双方が干渉を起こす前に通過する線形偏光プリズムが含まれていてもよい。この線形偏光プリズムは前記両波面の偏光を補助的に改善する。前記偏光プリズムは、基準波面と変調目的波面の双方が光屈折性材料に入る直前に線形偏光プリズムを通過するよう光屈折性材料と連携させることができる。偏光の夾雜は種々角度で起こる種々偏光の混合として作図することができる。上記したように、不一致偏光は、データビームからパワーを奪う寄生格子を生じ、及び/または信号のノイズに対する比を減ずる雑多な背景信号を誘導することになる。偏光の正確な効果は、2つのビームの偏光の不整合の程度によって左右され、また光屈折性材料の臨界結晶光軸との不整合によっても同様である。

40

【0025】

前記光屈折復調手段にはさらに、少なくとも1台の位相変調器が含まれてもよく、この場合基準波面はこの位相変調器を通るように向けられ、また光屈折性材料中に入る前に変調される。本願に参照として取り上げられた特許(米国特許出願第10/267,237号)には、前記基準波面の変調方法に関して当業者へ開示された知見が記載されている。前記変調は、目的ビームが振動中の対象物表面によって変調された周波数に類似するが僅

50

かに異なるオフセット周波数において起こる。前記取り上げられた特許に記載された種々の変調機構は、本発明の種々態様に適すると考えられ、また当業者によれば容易に本発明の態様へ適合可能である。

【0026】

2つ以上の位相変調器を設けることにより適用範囲を異なるバンド幅へ拡げることが可能となる。変調効果をそれぞれ独立させることができるので、一方の変調器に広い周波数範囲に亘って走査するための広いバンド幅をもたせ、他方の変調器にそのバンド幅内の单一共振特性を調べるために狭いバンド幅をもたせててもよい。あるいは、変調器を種々広範囲の周波数へ調整して（例えば一方を1GHz、他方を2GHz）、種々の周波数特性をもつ種々タイプの対象物の検査を容易にしてもよい。

【0027】

オフセット周波数での位相変調及び光屈折復調の概念に基づいて、本発明の態様では、光学顕微鏡を用いた初期技術における進歩を連携させ、及び使用音響周波数をGHz域及び可能性としてそれ以上まで高める方法及び装置が提供されている。

【0028】

本発明に係る撮像システムには、さらに画像信号取得サブシステムを含めることができる。画像は、光屈折性材料から生成された全視野リアルタイム画像信号に適合できるいすれか従来の記録方法によって記録可能である。この記録方法の例としては、アナログあるいはデジタルビデオ、テープによる記憶、コンピュータメモリによる記憶等を挙げることができる。前記記録方法は、用途によっては望まれるため、さらに処理できる方法が好ましい。全視野画像信号の取得が可能な電荷結合素子（CCD）カメラはその一例である。

【0029】

前記画像信号取得システムには、従来単一点信号の取得に用いられてきた型式の検出器がさらに含まれてもよい。前記信号取得装置の双方を備えることは従来の音響顕微鏡においては冗長であるが、本願に記載した切換手段を備える本発明の態様にはよく適合する。

【0030】

前記画像信号取得サブシステムには、線形偏光プリズム及び、画像が取得される前に通過する強度調節フィルターを含ませることができる。特に高消光性線形偏光プリズムは、画像信号及び／または単一点信号の偏光純度を向上させる上で有用である。偏光純度が向上すれば、信号のノイズに対する比もある程度向上する。前記消光比は好ましくは約1000:1より大きい。前記強度調節フィルターは画像信号入力を信号取得装置が最も容易に感知できる強度まで減じるために有用である。強度調節フィルターはCCDカメラにとっては特に有益である。適するフィルターの一例としては、回転させることにより信号強度に従って画像信号の一部を漸進的に遮断できる偏光プリズムがある。

【0031】

本発明の別の態様によれば、撮像システムには、目的波面を顕微鏡対物レンズの視野内の振動対象物表面部分へ指向し、及び前記視野内表面部分から反射された変調目的波面を光屈折性材料中へ指向するようにそれぞれ配置された目的波面供給源及び光学顕微鏡対物レンズが含まれている。基準波面供給源及び少なくとも1台の位相変調器はいずれも、基準波面を該位相変調器中へ指向させ、及び該位相変調器から反射された変調基準波面を光屈折性材料中へ指向させて前記変調目的波面との干渉を起こすように配置される。

【0032】

前記光屈折性材料は、前記変調目的波面と変調基準波面との干渉が該光屈折性材料中で起こり、前記視野内表面部分の全視野リアルタイム画像信号を与えるような組成及び配向を有する。一例として、目的波面源及び基準波面源は共同して1つの初期波面エミッタ、第三の1/2波長板、及び偏光波面スプリッターを備えることが可能である。これらの手段はすべて、初期波面を前記1/2波長板中へ指向させ、及び前記1/2波長板からの回転された初期波面を前記偏光波面スプリッター中へ指向させるように配置される。前記スプリッターは、目的波面及び基準波面を作り出し、及びこれら目的波面及び基準波面の相対強度を制御する。最適干渉を促進するため、前記目的波面及び基準波面をほぼ同一強度

に制御することができる。このような現象は前記した電磁波のベクトル作図から理解できる。

【0033】

さらに別の態様において、本発明は、材料中のUHF音響共振及び音波のリアルタイム画像を提供するために、2つの技術、すなわち光学顕微鏡及びレーザ超音波カメラを組み合わせている。レーザビームは基準ビームと目的ビームに分離され、また目的ビームが顕微鏡内で表面の小部分を照らす該顕微鏡を通して目的ビームが送られる。対物レンズからの反射光によって、(UHF音波によって生じた)表面における振動変位に関する位相情報が伝えられる。前記反射光は顕微鏡によって収集され、また前記超音波カメラシステムによる光学処理のために反射される。その際、基準ビームは、UHF周波数に類似するが僅かに異なる周波数で位相変調された後、拡がって光屈折性材料を照らす。対象物から反射された目的ビームは基準ビームと重なり合うように撮像レンズによって同時に光屈折性材料中へ集束され、これにより材料中において干渉を起こす。

【0034】

前記干渉は周知の光屈折効果を生じ、その際光生成電子によって生ずる電界によって回析格子(ホログラム)が形成される。前記格子は次いでそれを通過する光を、前記格子を形成したビームとともに回析する。本願に参照のため取り上げられた前述の特許に十分記載されているように、結果的に目的ビーム中に含まれる位相データは復調されて、元の対象物上におけるUHF振動の振幅に局部的に比例する強度をもつ画像が作り出される。これにより、完全に定量的であり、かつこれら音波に関する振幅及び位相情報の双方、さらにはそれらと対象物上の物理的及び幾何学的特性との相関を与える音波分布画像が得られる。通常点測定超音波検査によって実施される殆どの分析はこの方法によって可能であるが、リアルタイム撮像方式である点で異なる。

【0035】

本発明に係る撮像システムには、サンプル位置決めサブシステム、データ取得システム、整合目的の従来型撮像サブシステム等の周辺構成部品が含まれていてもよい。厳密な配置は特定用途及びその要求によって定まる。本発明の一態様では、撮像モードあるいはより高感度な点測定モードでのいずれの操作も備えられる。従って、かかる撮像システムはカメラに加えてデータ取得用の光検知器を備えてもよく、また前置増幅器及びロックイン増幅器等の他の電子部品を備えてもよい。

【0036】

前記点測定モードでは、集束されたスポットライトで対象物を照らす。(これは撮像モードにおける均質な照照明とは異なる)。従って、前記サンプル位置決めサブシステムには対象物表面上の多数の点でデータを収集できるように対象物を走査する機構が備えられてもよい。あるいはそれに代えて、表面上ヘレーザスポットを走査する手段を設けてよい。

【0037】

必ずしも必要ではないが、既に指摘したように、対物レンズを通して対象物を照らせるように顕微鏡を構成できれば有利である。市販のライツ社製DMRMEあるいは同等な顕微鏡は対物レンズを通して照明できる例である。あるいは、顕微鏡部品を組み立てて既製の顕微鏡を特定用途のために最適化してもよい。対象物が透明であれば下方から照明することができ、また対象物あるいは顕微鏡の形状によって妨げられなければ側面から照明してもよい。

【0038】

図1～図4に本発明に係る撮像システム20、22、24、26を概略図で示す。これらの概略図はこれらシステムのより重要な構成部品の相互関係を示すことを意図して描いたものである。図示された配置はシステムの一部を構成する光学顕微鏡2の具体的構成に適合している。他の顕微鏡構成に本システムを適合させるため図示された具体的配置を変更することは、本発明の種々態様の範囲内に含まれることは容易に認識されよう。さらに、同一の光学部品を含むシステムであっても、図1～4に図示したシステムよりも幾分有

利な方式で配置することが可能である。用いられる顕微鏡、カメラ、変調器、及びその他部品の具体的な光学的及び機械的構成を含む種々要因によって、また特定用途において付与される空間面での制限によって、選択されるべき配置も左右される。

【0039】

図1～図4の撮像システム20、22、24、26には、これらシステムにおいて有利であることが明らかなすべての構成部分が含まれている。しかしながら、これら個々の構成部分は、図1～図4において前記システムの一部として示された他の構成部分と切り離して考えても、それぞれ有利なものである。本発明の態様の範囲内に含まれる種々システムは必ずしも図示されたすべての構成部分を含むわけではない。しかしながら、図示された構成部分はかかる組合せ作動によって共同的効果及びGHz周波数で極めて有利な分解能を与える光学顕微鏡との好ましい連結機械作用を与えると認められる。10

【0040】

図1は対物レンズ4及び載置台6を備える光学顕微鏡2を含んだ撮像システム20を示す。顕微鏡2にはレーザポート8及び照明器ポート10がさらに備えられている。レーザ12は、目的ビーム28及び基準ビーム30になるビーム16を発生し、該ビームは光学部品板18上へ取り付けられた種々の撮像システム20構成部品を通過し処理される。レーザ12には、望ましい測定機能を発揮するため、十分なパワー、ビーム品質、可干渉性、及び位相安定性があると有利である。在カリフォルニア州サンタクララのコヒーレント・レーザ・グループから入手可能なコヒーレント（商標）2ワット・ベルディ（商標）ダイオード圧出型二重ソリッドステートレーザはかかる有利なレーザの一例である。20

【0041】

ビーム通路は実際にはいくつかの構成部分を通過する際に隠れるが、通路を明確に示すため前記システム全体に亘って見えるように図示されている。ビーム通路は全体的に示されているが、実際にはいくつかの構成部分、特に顕微鏡2内では異なる。顕微鏡内におけるビーム通路の詳細は図示していない。整合絞り14が設けられ、これら絞りはビーム整合の修復に役立つように調節可能である。整合絞り14をビーム通路に沿った種々位置に配置することにより前記機能を果たすことができる。顕微鏡2機能を調べ及び目的ビーム28を整合させるためのCCD撮像カメラCCD1も設けられている。30

【0042】

1/2波長板WP1を用いて入射ビーム16の偏光を回転させる。偏光ビームスプリッター管PBS1及び1/2波長板WP1の組合せで目的ビーム及び基準ビームの相対強度が調節される。偏光ビームスプリッター管PBS1は入射ビーム16を目的ビーム28と基準ビーム30に分割する。目的ビーム28はミラーM4からレンズL4中へ反射される。図1に描いた種々ミラーを用いてビームの向きを適切な一点に指向させる。ミラーは、好ましくはビーム品質を保持するため面平坦性が1/10またはそれ以上良好であり、またビームパワーを保持するために高反射性である。40

【0043】

レンズL4を用いて、目的ビームが顕微鏡2のレーザポート8へ入る前に該目的ビーム28を拡大する。好ましくは、目的ビーム28は、レンズL4中の目的ビームの拡大後、顕微鏡2の入口開口とほぼ一致する。ミラーM8は、目的ビーム28を偏光ビームスプリッターBPS1を通し、1/4波長板WP4を通し、またレーザポート8へ入る前にレンズL5を通してミラーM5へ指向する。1/4波長板WP4を用いて、目的ビーム28がレーザポート8へ導入され、また同ポートから導出されるように目的ビーム28の偏光を調節する。レンズL5を用いて目的ビーム28を顕微鏡2の開口数（NA）にほぼ適合するように調節し、載置台6上の対象物の均質な照明を確保する。レンズL5からの調節された目的ビーム28はミラーM5から光学部品板18中の開口（図示せず）を通ってレーザポート8へ反射される。

【0044】

目的ビーム28は顕微鏡2内に入った後ビームスプリッターを通過するが、このビームスプリッターによって目的ビームは下方へ向けられ対物レンズ4を通過して載置台6上の50

対象物を照らし、該ビームは変調ビームとなって対象物から反射される。このように変調された目的ビーム28はレーザポート8を出てミラーM5から反射され、レンズL5及び1/4波長板WP4中を通過し、偏光角度がPBS1と整合するように目的ビーム28の偏光を円形から線形へ変換する。偏光ビームスプリッターPBS1は目的ビームの一部を分割して変調状態に戻し、また目的ビーム28の一部を分割して顕微鏡2の方へ移動させる。次いで目的ビーム28はミラーM9から反射され、光屈折性結晶XTALへ入る前にレンズL3、1/2波長板WP3、及び線形偏光プリズムP2を通過する。撮像レンズは光学顕微鏡撮像手段から光を収集、上記光屈折性材料の超音波データから成る画像を作り出す。1/2波長板WP3は、光屈折性結晶XTAL及び基準ビーム30と好ましく整合するように目的ビーム28の偏光を回転させる。線形偏光プリズムP2を用いて、基準ビーム30による光屈折性結晶XTAL内部での干渉が起こる前に目的ビーム28の偏光を改善する。

10

【0045】

顕微鏡2における目的ビーム28の変調と並行して、基準ビーム30は位相変調を受ける。基準ビーム30は、ビーム直径が変調器MODに合致するように調節するために用いられるレンズL1中を通過する。図1には2つの変調器MODが図示されているが、本発明装置には1または2以上の変調器が含まれると理解されるべきである。この変調器は好ましくは電子光学変調器である。

【0046】

位相変調後、基準ビーム30はミラーM6及びミラーM7から1/2波長板WP2へ向かって反射される。特定の状況によっては、ミラーM7と1/2波長板WP2との間に撮像レンズL8を設けて、基準ビーム30を光屈折性結晶XTALの照明に最適な直径へ再視準することが有利である。1/2波長板WP2は、光屈折性結晶XTAL及び目的ビーム28と好ましく整合するように基準ビーム30の偏光を回転させる。線形偏光プリズムP2は、目的ビーム28への処理と同様な方式で、基準ビーム30を処理して、光屈折性結晶XTAL内部で干渉を起こす前に基準ビーム30の偏光を改善する。図示してはいないが、上記構成に代えて、目的ビーム及び基準ビームのそれぞれに線形偏光プリズムを独立して用いてもよい。光屈折性結晶XTAL内に生ずる光屈折効果によって動作信号32が生成される。

20

【0047】

撮像システム20において、動作信号32は顕微鏡2対象物の全視野リアルタイム画像信号を含み、検出器DET1あるいはCCDデジタルカメラCCD2に入る前に、動作信号32の偏光純度の改善に用いられる線形偏光プリズムP1中を通過する。線形偏光プリズムは補助的に信号対ノイズ比を改善し、また1000:1以上の高消光比を与えることができる。ビームスプリッターBS2は動作信号32を分割し、動作信号32の一部はミラーM10で反射され、そしてCCDデジタルカメラCCD2が受け取る信号強度の適合化に用いられるフィルターF2中を通過する。図示してはいないが、同様なフィルターをCCD撮像カメラCCD1と連携させると有利である。フィルターF2として、漸進的に光を遮断する方式で回転可能な偏光プリズムを用いることも可能である。

30

【0048】

次いで動作信号32はレンズL7中を通過し、CCDデジタルカメラCCD2上で超音波データの画像を作り出す。動作信号32は全視野リアルタイム画像信号を含むため、検出器DET1及びレンズL2の使用については図1との関連では論じられていない。これら手段が撮像システムの構成部分であることは有利であるが、動作信号32を単一点リアルタイム信号として生成する変更が行われなければ一般的に利用されないであろう。

40

【0049】

図2は、レンズL5を取り除いた以外は図1の撮像システム20と同一な撮像システム22を示した図である。レンズL5を取り除いたことにより、撮像システムは点測定モードに切り替わっている。そのため、レンズL2中を通過する動作信号32は収集され、点測定モードで超音波データを取得する検出器DET1中へ集束される。

50

【0050】

図3は、顕微鏡2から出る目的ビーム28用に別のポートが用いられている以外は図1の撮像システムと同様である撮像システム24を示した図である。より詳細には、変調を受けた後、目的ビーム28は顕微鏡2中を上方へ通過して照明器ポート10へ到達し、そこで顕微鏡2から出る。そのような構成にすると、撮像システム24は、偏光ビームスプリッターPBS1あるいは1/4波長板WP4が含まれない構成になる。ミラーM9を照明器ポート10へ再配置して該ポートから出る目的ビーム28を反射させる。とりわけ、目的ビーム28が照明器ポート10から出た後レンズL3中を通過する前に通過するレンズL6がさらに設けられる。レンズL6は照明器ポート10の使用によって生ずる顕微鏡光学部品による影響を補償するために有用である。これにより、動作信号32には図1に従った撮像システムにおいて与えられるものに類似した全視野リアルタイム画像信号が含まれる。図4の撮像システム26はレンズL5が取り除かれている以外は図3の撮像システム24と同一である。従って、撮像システム26における動作信号32には単一点リアルタイム信号が含まれる。

【0051】

撮像の種々方法は、本願において例示された撮像システムの態様の記載から容易に理解される。内在的に説明され、かつ上記説明に不可欠な撮像方法に加えて、本発明の別の態様では、検査信号の生成と検量線作成が組み合わされている。すなわち、信号は画像信号、あるいは単一点信号のいずれでもよい。この検査方法には、対象物振動面を照らす目的波面を作り出す工程と、前記振動面から反射された変調目的波面を光屈折性材料へ指向させる工程と、基準波面を位相変調する工程が含まれる。この方法では、変調基準波面の測波帯信号が2つ生成され、及び光屈折性材料中においてこの2つの側波帯信号が干渉を受ける。前記変調基準波面及び変調目的波面も同様に光屈折性材料中において干渉を受け、周波数、大きさ、及び位相変調振幅を有する前記振動面の検査信号を生ずる。前記干渉を受けた測波帯信号は、前記検査信号周波数とは異なる周波数及び大きさを有する出力信号を生成する。

【0052】

前記方法ではさらに、検査信号の大きさの前記出力信号の大きさに対する比が測定され、また検査信号位相変調振幅の一次ベッセル関数と検査信号位相変調振幅0次ベッセル関数の比が測定される。前記大きさ比と前記ベッセル関数比を比較することにより検量線作成が可能である。前記検査方法は光学顕微鏡対物レンズを含む本願記載の装置に特に適用可能である。従って、前記方法に、目的波面を対物レンズ中へ通過させ、位相変調された基準波面との干渉を起こす前に変調目的波面を対物レンズ中へ反射させる過程を含めることができる。

【0053】

一例として、前記方法へ検査信号を取得する工程をさらに含めて、前記検査信号の取得を前記大きさ比の測定と同時にを行うことも可能である。好ましくは、前記検査信号は単一点リアルタイム信号である。点測定モードでの検量線作成によって前記方法の操作及び結果の解釈が単純化される。しかしながら、前記検査方法は撮像モードに対しても適用可能であると考えられる。前記方法を撮像モードへ適用する1つの方法は、CCDカメラの各画素あるいは単一点の直径に対応する画素のグループを検量することである。当業者に公知な画素検量方法を本発明に係る検量線作成方法と組み合わせることも可能である。

【0054】

また上記方法に関連して、CCD撮像カメラCCD1と検出器DET1を撮像モードでの検量線作成において用いることも可能である。通常点測定モードでは、標品上の単一照明点（他のすべての点は暗い）から光を取り入れて、その光が検出器DET1中で集束される。しかしながら標品全体が照らされる撮像モードでは、単一照明点の検出器DET1中の集束をシミュレーションすることができる。マスク等の画像信号遮断構造を用いて、一部のみを照明が通過し及び標品上の一つの点位置から点測定モードでの単一点信号をシミュレーションすることを可能にすると同時に、画像信号の殆どを遮断することが可能

である。一例として、単一の孔をもつマスクを図1の撮像システム20中のビームスプリッターBS2と検出器DET1との間へ配置することができる。得られたシミュレーションによる点についての検量線作成を、標品上の点に対応する画素あるいは画素グループの画像信号と相關させることができる。前記相關された画素を用い、CCD配列の各画素あるいは画素グループについて相対反応を与える別の(前の)検量線作成手順によって、CCD配列全体を検量することが可能である。別法として、標品の観察部分の殆どあるいはすべてに影響を与える少なくともいくつかの振動モード(「ピストン」振動モードに類する)の場合では、視野内表面部分からの光の殆どあるいはすべてを集め、それをDET1中に単一点として集束させることも可能である。

【0055】

10

本願では本発明の他の態様において特に有用である検量線作成方法を記載したが、このような検量線作成方法を本願において具体的に記載されていない技術へ適用することも可能である。本発明の一態様に従った検査システム検量線作成方法では、第一波面から2つの測波帯信号を生成し、光屈折性材料中においてこれら2つの測波帯信号に干渉を起こし、及びそこから周波数及び大きさを有する出力信号を生成する。本発明方法では、前記出力信号周波数とは異なる周波数、大きさ、及び位相変調振幅をもつ位相変調動作信号が生成される。動作信号の大きさの出力信号の大きさに対する比は、動作信号位相変調振幅1次ベッセル関数の動作信号位相変調振幅0次ベッセル関数に対する比とともに測定可能である。前記大きさを前記ベッセル関数比と比較することができる。

【0056】

20

容易に理解されるように、位相変調された動作信号の生成においては、第一波面が位相変調され、また光屈折性材料中において前記位相変調された第一波面の目的波面との干渉が起こる。なお、前記検量線作成方法に関しては、目的波面は位相変調される必要はない。しかしながら、望ましい場合には位相変調することができる。このことは、音響顕微鏡のための検量線作成に関して、対象物表面が振動している場合、あるいは振動していない場合のいずれにも、前記検量線作成方法が実施可能であることを意味する。前記検量線作成方法は目的波面を位相変調しながらでも実施できるため、検査信号を生成しながら検量線作成する点がこの検量線作成方法の利点である。それゆえ、前記第一波面には基準波面が含まれていてもよい、また目的波面には振動中の対象物表面から反射された変調目的波面が含まれていてもよい。従って、動作信号には好ましくは対象物表面の単一点リアルタイム信号が含まれる。

【0057】

30

前記検量方法において用いられる2つの測波帯信号の生成においては、振幅変調された駆動信号を用いる位相変調器によって前記第一波面が位相変調されてもよい。この第一波面は音響顕微鏡において用いられる基準波面であってもよい。従って、前記振幅変調された駆動信号を電子光学変調器へ与えることも可能である。また、光屈折復調を用いる動作信号を生成する代わりに、前記第一波面を位相変調することによって位相変調された動作信号を生成することも可能である。このように音響顕微鏡に関しては、基準波面を位相変調して前記検量線作成方法において用いられる動作信号を生成することが可能である。

【0058】

40

Telschow等、「UHF音響顕微鏡による共振器動作の撮像」、2000 IEIE超音波シンポジウム報告、10月22~25日、第1号、631~634頁(2000年)には、動作信号が最大化される位相変調振幅を数理的に算出し及び試験で確認するために用いる検量線作成方法に関する記載がある。最大動作信号の生成は、このような信号の検出及び処理を促進し、本発明のいくつかの態様において利用可能である。

【0059】

振動面の面外動作は表面に対して垂直に反射される光ビームの位相ずれを生じ、このずれは下記式から求められる。

【数1】

$$\varphi_S(t) = \frac{4\pi\xi}{\lambda} \quad (\text{式1})$$

式中、 $\xi(t)$ は時間(t)の関数としての位相ずれを表し、 λ は光波長、及び ξ は表面変位を表す。 ξ は下記式から求められる。

【数2】

$$\xi(t) = \xi_0 \cos(2\pi ft + \psi) \quad (\text{式2})$$

10

式中、 f は周波数、及び ψ は音響位相を表す。このビームを、オフセット周波数 $f \pm f$ において類似の方式で位相変調された基準ビームと組み合わせることにより、周波数 f において変化する狭帯域成分の干渉パターンが生成される。光屈折性材料中の2つの波の混合により、狭帯域成分強度、

【数3】

$$|I_{AC}| \propto J_0(\varphi_S)J_1(\varphi_S)J_0(\varphi_R)J_1(\varphi_R) \quad (\text{式3})$$

をもつ出力ビームが生成される。

上記式中、 $|I_{AC}|$ は前記強度、 φ_S 、 φ_R はそれぞれ信号(すなわち対物レンズ)及び基準ビーム上の光位相変調度(振幅)、及び J_0 、 J_1 はそれぞれ1次及び0次ベッセル関数を表す。

20

【0060】

目的ビーム及び基準ビーム双方によって前記0次及び1次ベッセル関数の積に比例する出力強度が生成されることは明らかである。この特定のベッセル関数積は変調度に関して $= 1.08$ ラジアンの最大値をもち、より小さな変調については \propto に比例する。光波長532 nmにおいて、この最大値は45.8 nmの超音波変位に相当する。図5は電子光学変調器(EOM)を駆動してこの反応を測定した結果を一定周波数における振幅の関数として示した図である。最大位相変調度は、使用される增幅器及び変調器にとって、增幅器/スプリッター連鎖への入力駆動パワーが0 dBmである時に生ずる。これにより、EOMへ伝えられるほぼ1ワットの電力が生じ、これは880 MHzにおける50オームに相当した。図5中の実線はベッセル関数積の期待値を示す。

30

【0061】

前記最大位相変調の達成によって、3台のフェーズロック信号発生器、2台のUHF発生器(目的物及びEOM変調用に各1台)、及び差周波数を生成する低周波数発生器を用いた簡略な検量線作成手段が得られた。検量線作成に際しては、前記2つの信号をEOM上で組合せ、生じた信号位相ずれをEOM上において一定駆動パワーを用いて記録した。得られた結果は図5に示した前記式3と極めてよく一致した。

【0062】

Test show等によって測定されたような最大動作信号を生成する位相変調振幅は検査システム検量線作成方法において有用である。本発明の一態様では、EOM駆動信号は測定演算周波数から容易に分離できる周波数において振幅変調(AM)される。このAMによって結果的に位相変調された光ビーム上において2つの測波帯信号が創出される。これらの2つの測波帯信号も、いずれかの位相変調と同様に、光屈折位相検出系において混合し、前記AM周波数において出力強度信号を創出する。これら測波帯の振幅は周知であり、前記AM周波数へ同調された付加的ロックイン增幅器を用いて操作上の測定と同時に容易に測定可能である。前記演算周波数信号の振幅にある程度減少が起こるが、その減少量は十分特性として認識され、実験室において確認されている。

40

【0063】

前記AM及び演算位相信号とも全く同一の光学的及び電気的パラメータを用いて同時に

50

検出されるため、これら 2 つの信号の比を単純に計算することにより正確な検量線作成が可能である。上記データ処理の解析により、前記 2 つの信号比から出力が下記式に従って生成されることが示されている。

【数 4】

$$\frac{|V_{GHz} (rms)|}{|V_{AM} (rms)|} = \left(\frac{J_1(\delta_{EOM})}{J_0(\delta_{EOM})} \right) \left(\frac{J_1(\delta_{GHz})}{J_0(\delta_{GHz})} \right) \left(\frac{J_0(\delta_{AM})}{J_1(\delta_{AM})} \right) \quad (\text{式 4})$$

上記式中、 J_1 , J_0 ()はそれぞれラジアンで表した 1 次及び 0 次の位相振幅ベッセル関数、 V_{GHz} (rms)は動作信号の大きさ(二乗平均)、 V_{AM} (rms)は AM 信号の大きさ(二乗平均)、 δ_{EOM} は E O M 上での位相変調振幅(ラジアン)、 δ_{GHz} は動作信号として測定される位相変調振幅、及び δ_{AM} は E O M を通して基準ビーム上に生成される AM の位相変調振幅を表す。計測器制御のために選択された δ_{EOM} は T e l s c h o w 等の場合と同様に 1 . 0 8 ラジアンであった。また計測器制御のために選択された δ_{AM} は 0 . 7 8 ラジアンであった。図 6 はこの解析と実際の測定がよく一致することを示している。

【0064】

前記動作信号の絶対測定は、前記動作信号位相変調振幅の場合とは逆に式 4 を解き、次いで下記式 5 を介して前記動作信号に対応する音響変位を計算することによって行われる。

【数 5】

$$\xi(nm) = \delta(radians) \left(\frac{\lambda(nm)}{4\pi} \right) \quad (\text{式 5})$$

【0065】

上記方法においては、点測定モードで超音波データを取得するため、動作信号の大きさと AM 信号の大きさを図 2 及び図 4 に示した検出器 D E T 1 等の検出器を用いて電圧として測定した。従って、前記大きさ比は電圧比でもある。二乗平均電圧を用いて前記大きさ比を計算することが好ましいが、前記出力信号及び動作信号の大きさを測定する別法は当業者の認識するところである。しかしながら、このような代替測定方法は、既存のものもあるいは今後創出されるものでも、明らかに本願発明範囲に包含される。また、本願において参照として取り上げられた先行特許では従来の超音波撮像において用いられた周波数オフセットに関して論じられている。本願記載の種々態様の検量線作成方法においては、出力信号周波数は、上記特許からも認識できるように、好ましくは演算周波数とは確実に識別できる程度まで異なる。好ましくは、前記周波数オフセットは演算周波数の約 ± 1 0 % 未満である。一例として、 G H z 値域内の演算周波数については、周波数オフセットはキロヘルツ(K H z)値域内であればよい。すなわち、出力信号周波数は G H z 値域の演算周波数 ± K H z 値に等しいと言うことができる。

【0066】

種々の撮像システムに関する記載と同様に、撮像システムにはさらに検査信号の生成と同時に検量線作成を行う検量線作成手段が含まれていてもよい。好ましくは、この検量線作成手段は単一点リアルタイム信号の生成と互換性がある。検量線作成方法に関して記載された工程の実施に用いることができる当業者に公知ないいずれか適当な光学及び / または電子部品を用いて検量線作成手段を構成することができる。具体的には、検査システムへ、少なくとも位相変調器の駆動信号を変調する振幅変調器を備える検量線作成機構を含めることができる。なお、この位相変調器は基準波面の位相変調に用いられるタイプのものである。これにより、振幅変調器は変調基準波面の測波帯信号を 2 つ生成し、これら 2 つの測波帯信号は光屈折性材料中で干渉を起こして検量線作成出力信号を与える。この出力信号を、本願において述べたように、検量線作成目的に用いることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 7 】

本発明の別の態様によれば、検査システム検量線作成方法には、基準波面を位相変調する工程と、位相変調された基準波面の測波帯信号を2つ生成する工程と、光屈折性材料中で前記2つの測波帯信号に干渉を起こし、そこから周波数及び大きさをもつ出力信号を生成する工程が含まれる。該方法は、位相変調された基準波面と目的物波面とを光屈折材料中で干渉させる工程と、それから出力信号周波数とは異なる周波数と、大きさと、位相変調振幅とを有した動作信号を生成する工程を有する。動作信号の大きさの出力信号の大きさに対する比は、動作信号位相変調振幅1次ベッセル関数の動作信号位相変調振幅0次ベッセル関数に対する比とともに測定可能である。前記大きさ比を上記ベッセル関数比と比較することができる。

10

【 0 0 6 8 】

次に図6では、動作信号位相変調振幅の多様な数値関数としての前記大きさ比及びベッセル関数比の双方がプロットされて示されている。これらプロットされたデータをそのまま比較して大きさ比実験値とベッセル関数比から得られた曲線との一致を容易に確認することができる。十分な一致が得られなかった場合は、検査システムの作動不全の解消、あるいは種々既知効果に関するデータ一致化に役立つ補償を行うことにより検査方法の正当化が可能である。

20

【 0 0 6 9 】

規則に従って、本発明では構造上及び方法上の特徴に関して記載した。しかしながら、本願において開示された手段は本発明を実施する好ましい形態として示されているのであるから、本発明を図示され及び記載された具体的特徴に限定すべきではないと理解されるべきである。それゆえ、本発明は均等論に従って適切に解釈された添付の特許請求の範囲において限定された適切な範囲の発明及び変形に対して権利化を求めるものである。

【 図面の簡単な説明 】**【 0 0 7 0 】**

【図1】本発明の第一の態様に従った撮像システムの概略図である。

【図2】本発明の第二の態様に従った撮像システムの概略図である。

【図3】本発明の第三の態様に従った撮像システムの概略図である。

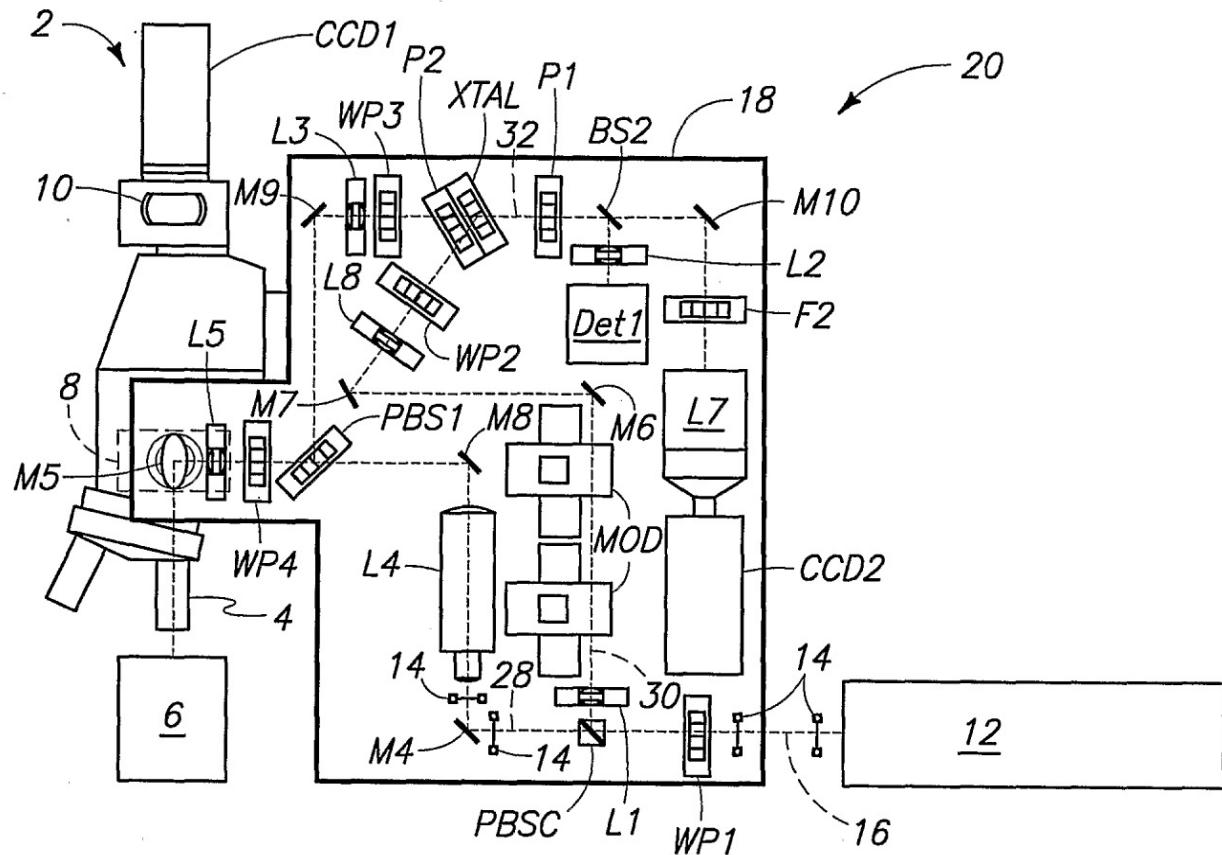
【図4】本発明の第四の態様に従った撮像システムの概略図である。

【図5】電気光学変調器の信号駆動パワーを増大させて振幅変調度を変えるための最大信号振幅の測定に用いられる検量線作成データを示した図である。

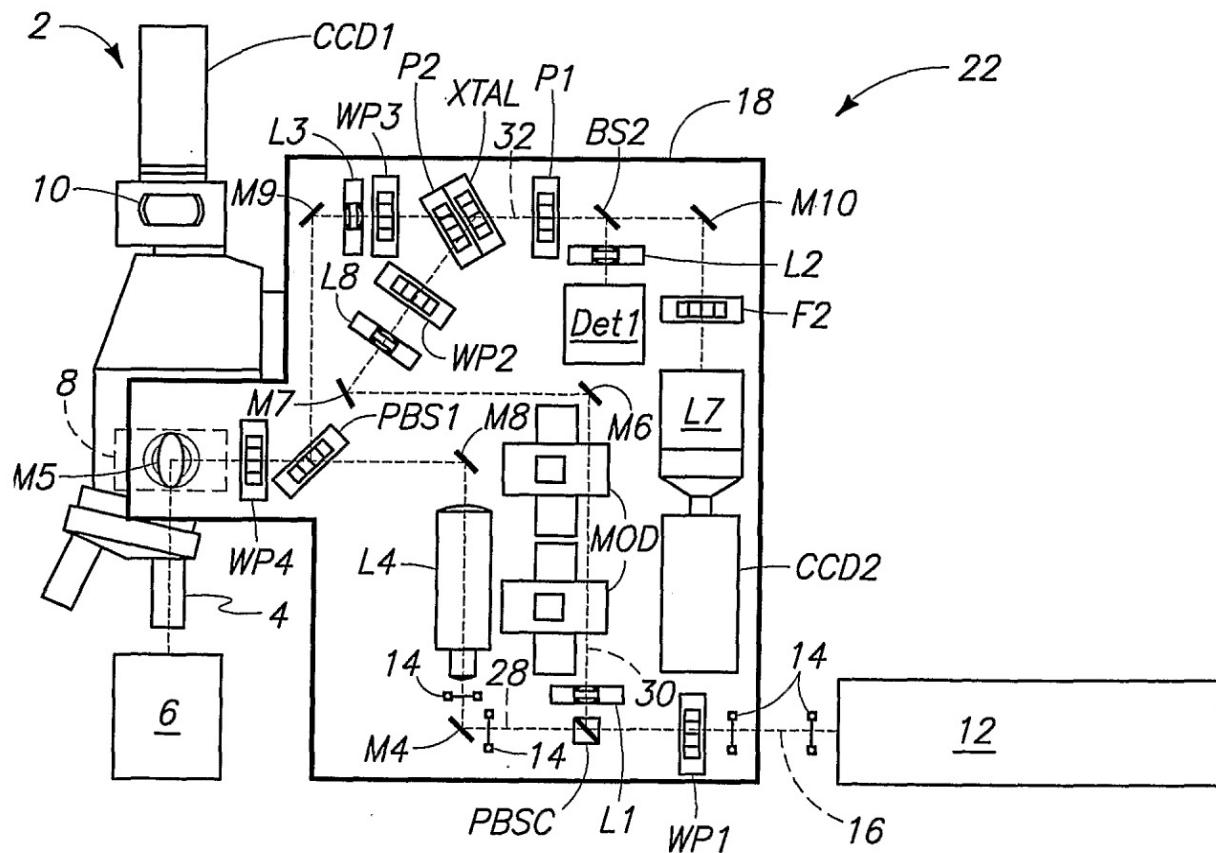
30

【図6】信号振幅比の数理的予測値との一致の確認に用いられる検量線作成データを示した図である。

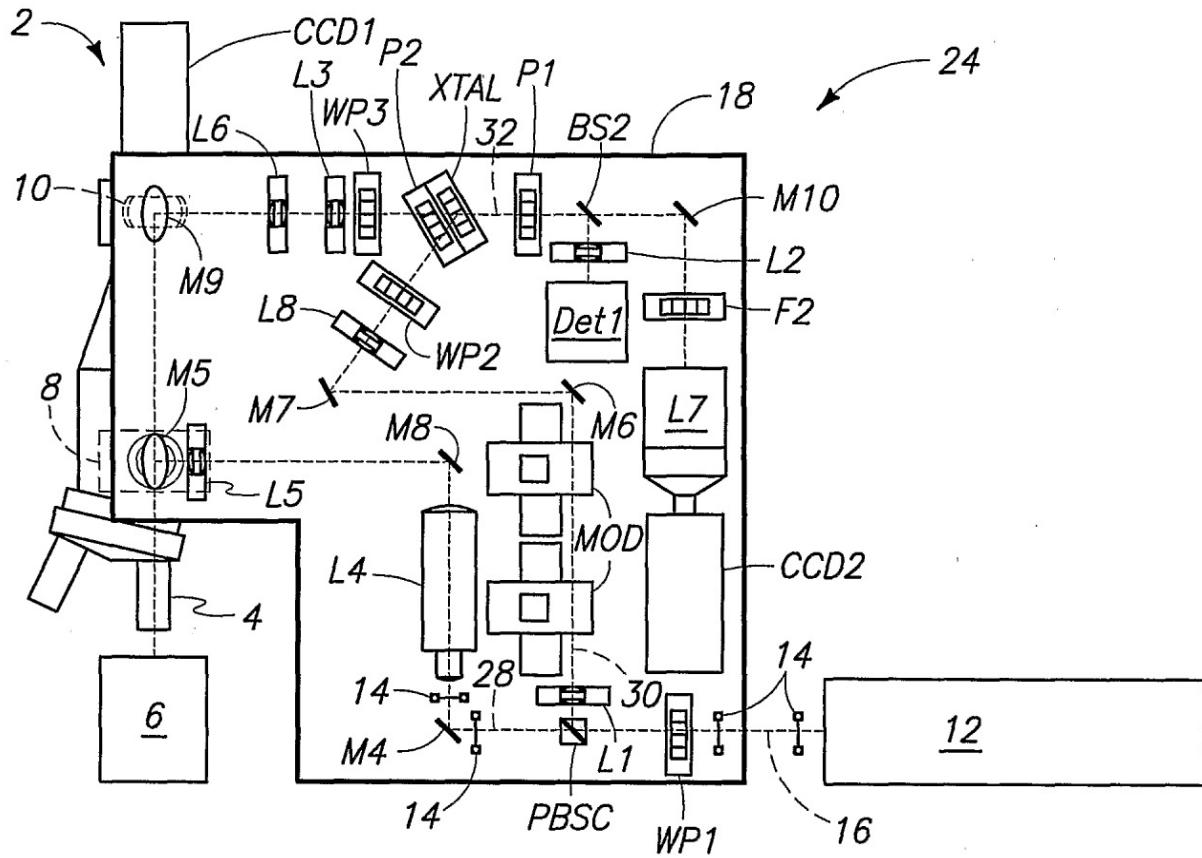
【図1】



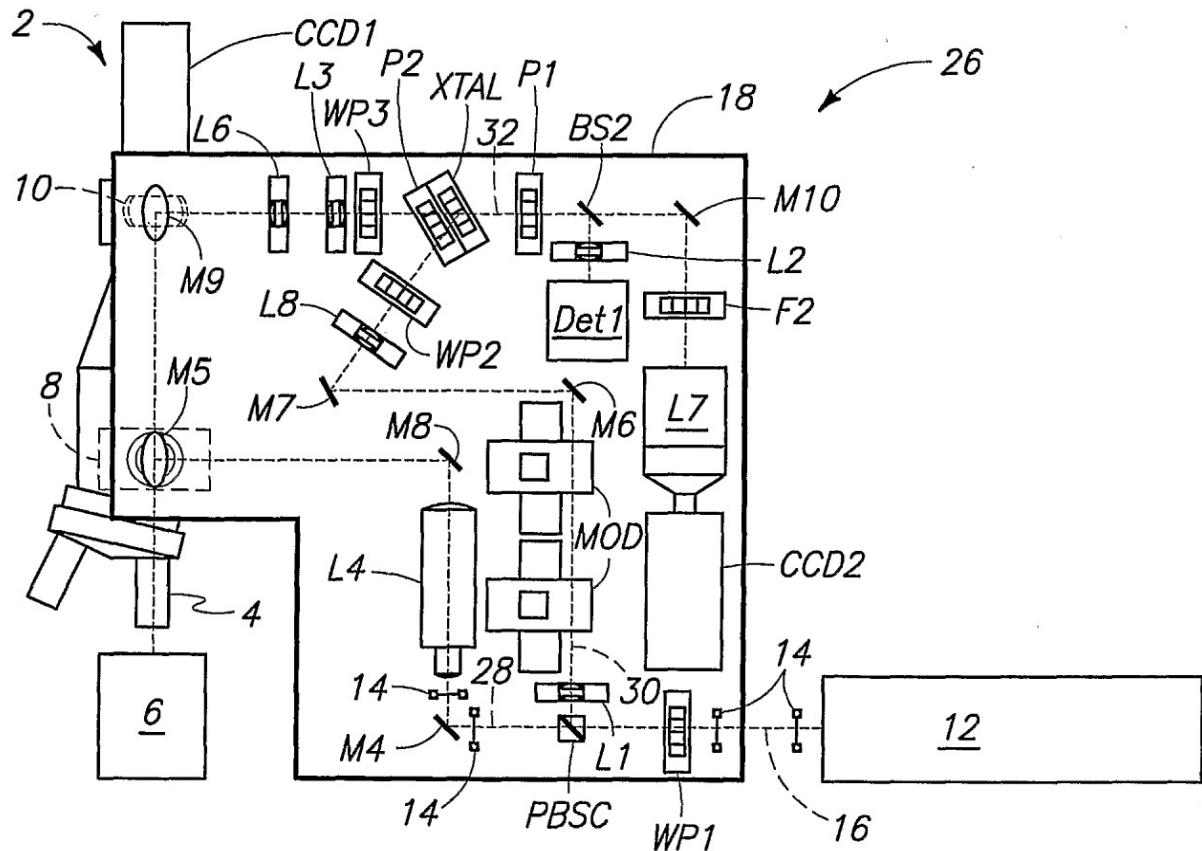
【図2】



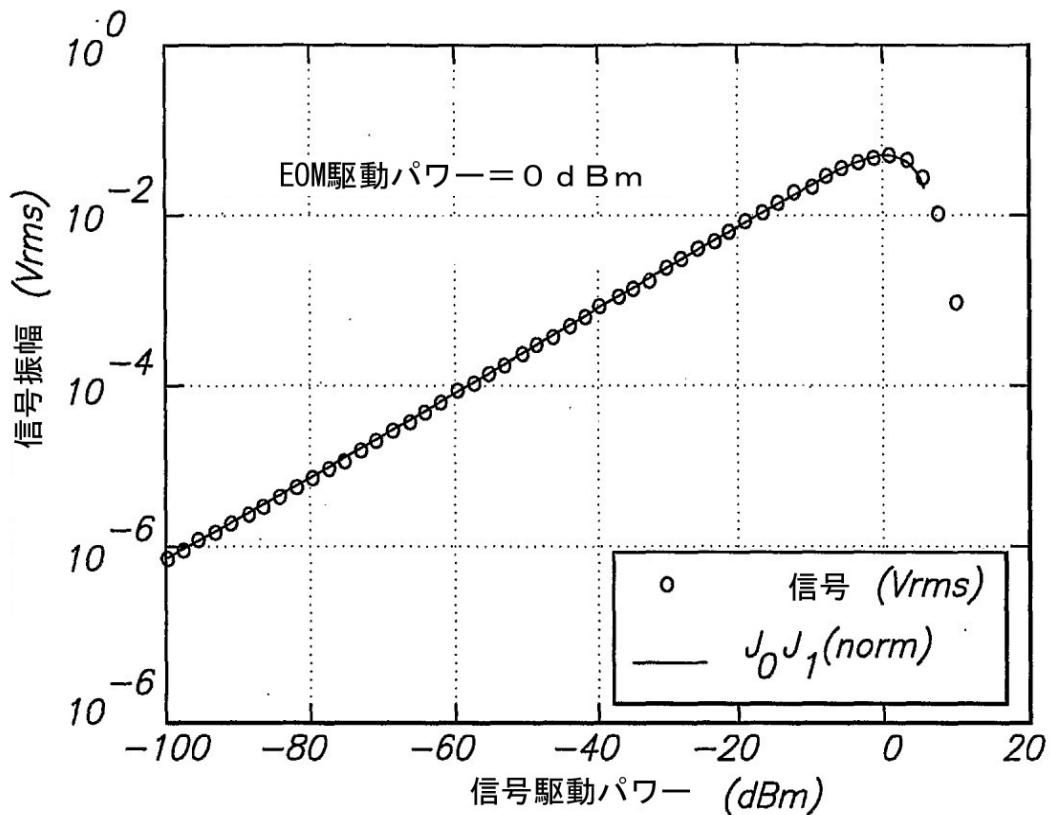
【図3】



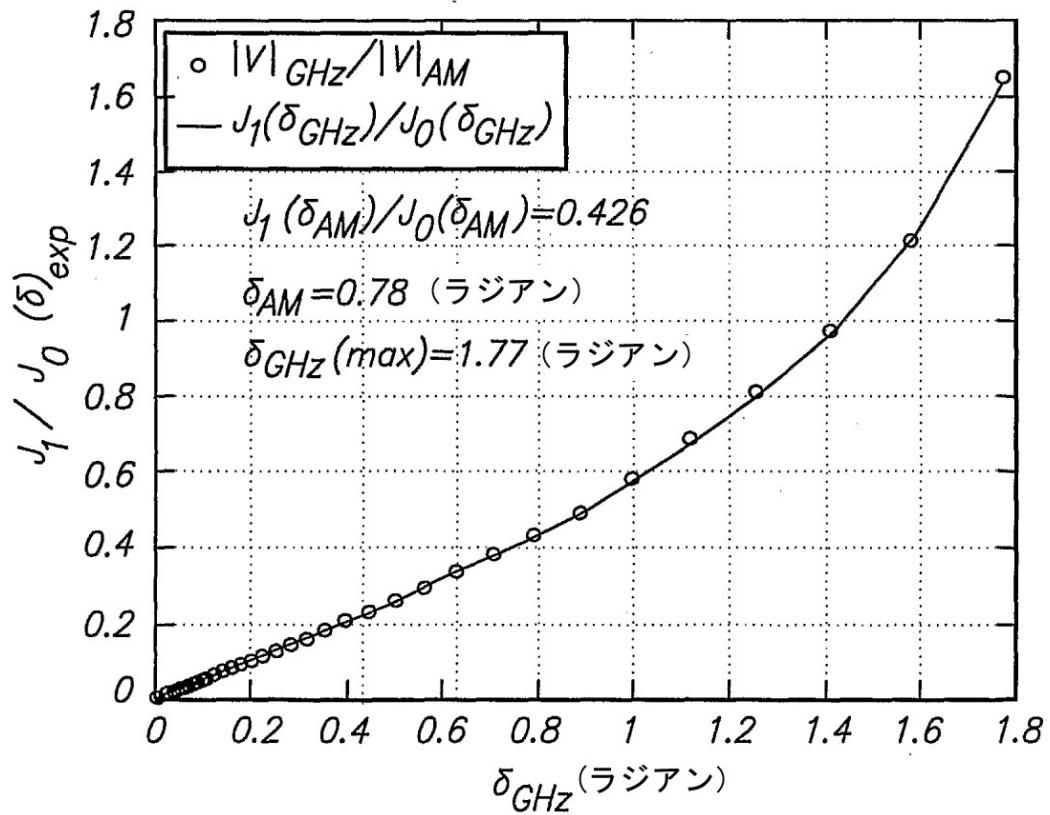
【図4】



【図5】



【図6】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US03/32259																				
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER																						
IPC(7) : G01B 9/02 US CL : 356/502																						
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																						
B. FIELDS SEARCHED																						
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 356/502, 450, 492, 485, 498																						
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 practicable, search terms used) EAST																						
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT																						
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																				
A	US 4,986,144 A (Thomas et al) 6 November 1990 (06.11.1990), entire document	1-45																				
A	US 4,572,949 A (Bowers et al.) 25 February 1986 (25.02.1986), entire document.	1-45																				
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input type="checkbox"/> See patent family annex.																				
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table> <tbody> <tr> <td>"A"</td> <td>document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"T"</td> <td>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</td> </tr> <tr> <td>"E"</td> <td>earlier application or patent published on or after the international filing date</td> <td>"X"</td> <td>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</td> </tr> <tr> <td>"L"</td> <td>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)</td> <td>"Y"</td> <td>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</td> </tr> <tr> <td>"O"</td> <td>document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td>"&"</td> <td>document member of the same parent family</td> </tr> <tr> <td>"P"</td> <td>document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	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	"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"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	"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)	"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	"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&"	document member of the same parent family	"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	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																			
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"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																			
"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)	"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																			
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&"	document member of the same parent family																			
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed																					
Date of the actual completion of the international search 29 September 2004 (29.09.2004)	Date of mailing of the international search report 17 DEC 2004																					
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703) 305-3230	Authorized officer Andrew Hwa S. Lee Telephone No. 571-272-2800 <i>James R. Matthews</i>																					

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,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,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,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,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,M W,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 テルスチョウ, ケネス, エル.

アメリカ合衆国, アイダホ州 83401, アイダホ フォールズ, ダブリュー. プレザ
ント ストリート 620

F ターム(参考) 2G047 AA05 AC10 BC07 BC18 CA04 CA07 EA07 EA10 FA00 GD01

GF11 GH08

2H052 AA00 AA04 AC04 AF14