



(43) 国際公開日
2006 年 3 月 23 日 (23.03.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/030756 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 21/35 (2006.01) *G01B 11/30* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/016799
- (22) 国際出願日: 2005 年 9 月 13 日 (13.09.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-265020 2004 年 9 月 13 日 (13.09.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立
大学法人東京大学 (THE UNIVERSITY OF TOKYO)
[JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目 3 番 1 号
Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 五神 真
(GONOKAMI, Makoto) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文

京区本郷七丁目 3 番 1 号 国立大学法人東京大学
内 Tokyo (JP). 島野 亮 (SHIMANO, Ryo) [JP/JP]; 〒
1138654 東京都文京区本郷七丁目 3 番 1 号 国立大学
法人東京大学内 Tokyo (JP).

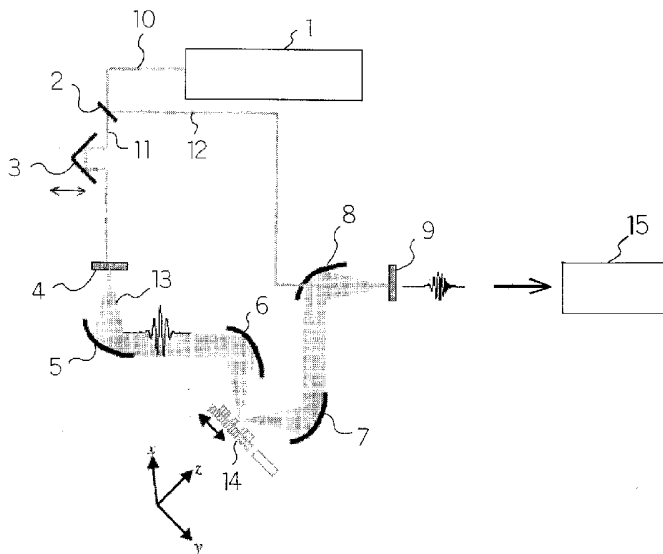
(74) 代理人: 成瀬 重雄 (NARUSE, Shigeo); 〒1020093 東京
都千代田区平河町二丁目 3 番 1 号 花菱イマス平河
町ビル 4 階 成瀬・稲葉・井波特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護
が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR,
HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

/ 続葉有 /

(54) Title: MEASURING METHOD AND MEASURING EQUIPMENT EMPLOYING HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC WAVE

(54) 発明の名称: 高周波電磁波を用いた計測方法及び計測装置



(57) Abstract: [PROBLEMS] To provide a measuring method for detecting the phase error of reflected waves using the time waveform of detected reflected waves. [MEANS FOR SOLVING PROBLEMS] The measuring method comprises (1) a step for irradiating a sample (14) with a high frequency electromagnetic wave (e.g. terahertz wave) (13) and measuring the time waveform of a reflected wave, and (2) a step for attaining the phase error information in the time waveform of the reflected wave by analyzing the features of the time waveform. Based on the phase error information, shape information on the surface of the sample (14) or induction response in the sample (14) can be obtained. According to the invention, unevenness or surface shape of a variety of substances, e.g. semiconductor, metal and magnetic body, can be determined precisely and quickly without touching the substance.

(57) 要約: 本発明は、検出された反射波の時間波形を用いて、反射波の位相誤差を検出する計測方法を提供するものである。【解決手段】 この計測方法は、以下のステップを備えている: (1) 高周波電磁波 (例えばテラヘルツ波) 13 を試料 14

/ 続葉有 /



WO 2006/030756 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

4に照射し、試料14による反射波の時間波形を測定するステップ; (2) 前記時間波形の特徴を解析することにより、前記反射波の時間波形における位相誤差の情報を得るステップ。 前記した位相誤差の情報に基づいて、試料14の表面における形状情報や、試料14における誘電応答を得ることができる。 本発明によれば、半導体、金属、磁性体などの多様な物質に対して、材料の不均一性や表面形状を、非接触で精度よくかつ高速に決定することが可能となる。

明 細 書

高周波電磁波を用いた計測方法及び計測装置

技術分野

- [0001] 本発明は、高周波電磁波（例えばテラヘルツ波）を用いて、試料の物性又は試料の形状を計測する方法に関するものである。

背景技術

- [0002] テラヘルツ波を用いた分光分析方法が最近提案されている（例えば下記非特許文献1及び2参照）。
- [0003] テラヘルツ波（テラヘルツ電磁波やテラヘルツ光と呼ばれることもある）は、光と電波の中間の周波数領域における電磁波である。この周波数域では、多くの物質が多彩な応答を示す。また、テラヘルツ波を用いると、光と同様に、非接触かつ局所的な応答を検出できるので、2次元計測が可能である。そこで、テラヘルツ波を用いた分光分析は、半導体工学・医療・セキュリティー等幅広い分野への応用が期待されている。
- [0004] また、通常の光計測では、光強度情報のみが得られる。これに対して、テラヘルツ分光では、電磁波における時間波形を直接測定して振幅・位相を決定することができる。このため、試料における複素誘電応答関数を、実部・虚部同時に決定することができるという利点がある。
- [0005] しかし、テラヘルツ分光において、電磁波の時間波形における位相情報を正しく捉えるためには、試料の位置や光学系を構成する部品の位置を、極めて高い精度で決定しておく必要がある。このような位置合わせは煩雑であり、作業効率が低下してしまう。例えば、下記非特許文献1では、反射配置において、高ドープシリコン基板のテラヘルツ誘電応答を測定し、Drudeモデルとの比較を行い、精密な位置合わせを行っても $\pm 15 \mu\text{m}$ 程度の誤差がのこるという結果を得ている。
- [0006] また、試料の位置によって位相情報が変わるということは、凹凸のある試料での計測が難しいということを意味しており、このため、凹凸のある試料の誘電応答関数を捉えることが難しいという問題もある。

[0007] さらに、例えば、試料が不透明媒質で覆われている場合のように、試料の形状が不明の場合も、分光分析が困難となっていた。

[0008] また、下記非特許文献2では、反射部材の配置を調整することによって位相誤差を除去することにより、不透明な物質(高ドーピングシリコン)の誘電応答関数を決定する方法が提案されている。この方法によれば、 $0.3\ \mu\text{m}$ の精度で、位相誤差を補正することができる。しかしながら、この方法は、熟練した実験技術を要するという問題がある。

非特許文献1:T.-I.Jeon and D.Grischkowsky, Applied Physics Letters vol.72, 3032-3034 (1998)

非特許文献2:S.Nashima, O.Morikawa, K.Takata, and M.Hangyo, Applied Physics Letters vol.79, 3923-3925(2001)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0009] 本発明は、このような状況に鑑みてなされたもので、参照用の波形を得るために随時参照試料を精密に位置合わせすることなく、検出された反射波の時間波形のみを用いて、反射波の位相誤差を検出することができる計測方法及び計測装置を提供しようとするものである。

課題を解決するための手段

[0010] 前記した課題を解決する手段としての本発明は、下記の項目として表現できる。

[0011] 項目1の、高周波電磁波を用いた計測方法は、以下のステップを備えている：

(1)高周波電磁波を試料に照射し、試料による反射波の時間波形を測定するステップ；

(2)前記時間波形の特徴を解析することにより、前記反射波の時間波形における位相誤差の情報を得るステップ。

[0012] 項目2の計測方法は、項目1に記載のものにおいて、さらに以下のステップを備えている：

(3)前記位相誤差の情報に基づいて、前記試料の表面における形状情報を得るステップ。

[0013] 項目3の計測方法は、項目2に記載のものにおいて、前記形状情報が、前記試料

表面の二次元形状情報となっているものである。

[0014] 項目4の計測方法は、項目1に記載のものにおいて、さらに以下のステップを備えている：

(3)前記位相誤差の情報に基づいて、前記試料における誘電応答を得るステップ。

[0015] 項目5の計測方法は、項目1に記載のものにおいて、さらに以下のステップを備えている：

(3)前記位相誤差の情報に基づいて、前記試料の表面における形状情報と、前記試料における誘電応答とを共に得るステップ。

[0016] 項目6の計測方法は、項目1～5のいずれか1項に記載のものにおいて、前記高周波電磁波が、光伝導アンテナ又は非線形光学結晶を用いて発生させられたものとなっている。

[0017] 項目7の計測方法は、項目1～6のいずれか1項に記載のものにおいて、前記反射波が、光伝導アンテナ又は非線形光学結晶を用いて検出されるものとなっている。

[0018] 項目8の計測方法は、項目1～7のいずれか1項に記載のものにおいて、前記高周波電磁波がテラヘルツ波となっているものである。

[0019] また、本発明に係る高周波電磁波を用いた計測装置は、高周波電磁波の発生部と、高周波電磁波の検出部と、解析部とを備えている。前記発生部は、試料に対して高周波電磁波を照射するものである。前記検出部は、前記試料によって反射された前記高周波電磁波(反射波)を検出するものである。前記解析部は、前記検出部で検出された前記反射波の時間波形の特徴を解析することにより、前記反射波の時間波形における位相誤差の情報を得る構成となっている。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、検出された反射波の時間波形のみを用いて、反射波の位相誤差の情報を検出することができる。この位相誤差の情報をを用いて、試料の表面形状や誘電応答を計測することが可能となる。また、本発明によれば、反射波の時間波形の特徴を解析することによって、反射波の時間波形における位相誤差の情報を得るので、精密に位置制御された参照用の試料を必要とせずに、位相誤差を検出することができるという効果も発揮しうる。

発明を実施するための最良の形態

- [0021] 本発明の計測方法に係る実施形態を、以下の実施例によって説明する。
- [0022] (実施例に用いる計測装置)
- [0023] まず、後述する各実施例において用いられる計測装置の構成を、図1に基づいて説明する。このような計測装置自体は、従来から知られているものと基本的に同様なので、以下においては装置の概要を説明する。
- [0024] この装置は、レーザ発生部1と、ハーフミラー2と、光学遅延部3と、高周波電磁波の発生部4と、四つの放物面鏡5～8と、反射波の検出部9と、解析部15とを備えている。
- [0025] レーザ発生部1としては、この実施形態では、チタンサファイアモード同期レーザが用いられている。このレーザ発生部1で発生するレーザ光10のパルス幅は300フェムト秒である。
- [0026] ハーフミラー2は、レーザ発生部1から発生したレーザ光の光路上に配置されており、レーザ光10をポンプ光11とプローブ光12とに分岐するものである。
- [0027] 光学遅延部3は、ポンプ光11における光学遅延量を調整するものである。
- [0028] 高周波電磁波の発生部4としては、この実施形態では、レーザ光の照射によってテラヘルツ波13のパルスを発生できる非線形光学結晶である、ZnTe結晶が用いられている。発生部4は、試料14に対して高周波電磁波(テラヘルツ波)を照射するものである。
- [0029] 四つの放物面鏡5～8は、内面がアルミニウムとなっており、テラヘルツ波を反射し、かつ集光できるようになっている。
- [0030] 反射波の検出部9は、この実施形態では、発生部4と同様に、非線形光学結晶であるZnTe結晶が用いられている。検出部9は、テラヘルツ波13の経路上に配置された試料14で反射された反射波の時間波形を検出できるようになっている。ポンプ光11とプローブ光12とを用いた、反射波の時間波形の検出方法は、既に良く知られているので、説明を省略する。
- [0031] 解析部15は、検出部4で検出された反射波を受け取って、その時間波形を測定し、かつ、時間波形の特徴を解析することにより、反射波の時間波形における位相誤

差の情報を得る構成となっている。このような解析部は、コンピュータハードウェアやソフトウェアを用いることによって構成できる。解析部15の詳しい動作は後述する。

[0032] (実施例1)

まず、前記した装置を用いて、テラヘルツ波の反射波を測定した例を、図1に基づいて説明する。

[0033] この例では、試料14として、半導体InAs基板を用いた。この試料は、市販されている、ノンドープの単結晶基板であり、室温でのキャリア(電子)濃度は $10^{16}/\text{cm}^3$ である。

[0034] まず、レーザ発生部1で発生したレーザ光10は、ハーフミラー2で分岐して、その一部がポンプ光11となる。ポンプ光11は、発生部4に照射されて、発生部4により、テラヘルツ波13を生じる。発生したテラヘルツ波13は、空間的に広がって伝播する。これを放物面鏡5によりいったん平行にする。続いて次の放物面鏡6によりテラヘルツ波を試料14上に集光する。この際テラヘルツ波13は試料14に対して入射角 45° で入射する。試料14で反射されたテラヘルツ波13(つまり反射波)を、続いて設置された放物面鏡7及び8により導波し、検出部9に集光する。検出部9の出力は、解析部15に入力されて解析される。

[0035] これにより、反射波の時間波形を測定することができる。測定された反射波の振幅及び位相を図2に示す。図2(b)中の破線が、実験で得たデータを示し、実線が、Drudeモデルによって得たデータを示す。特に位相には、試料14の位置ずれや凹凸に伴う誤差が含まれていることが予想される。

[0036] 以下の実施例において、具体的な位相誤差の検出方法を説明する。これらのどれかの方法により、試料の相対的な位置情報を検知することが可能である。また、試料またはテラヘルツビームを2次元的に走査することで、試料の凹凸の情報を得ることもできる。さらに、同時に得られた各点での誘電応答関数から、物性パラメータや物質分析パラメータの2次元分布情報を得ることもできる。これらの検出処理は、特に断らない限り、原則として解析部15で行われる。

[0037] まず、一般論として、反射波の時間波形(図2(a)の実線)を計測した後、これをフーリエ変換し、参照波の時間波形(図2(a)の破線)のフーリエ変換との比を取る事により、物質の応答関数の振幅・位相に反射波を変換することができる(図2(b))。この変換

で得た位相は、非特許文献1に記載されているように、試料位置のずれに伴う位相誤差を含んでいる可能性があり、このままでは正しいスペクトルか否かの判別は不可能である。しかし後述するアルゴリズムを用いれば、この位相誤差の有無を簡単に検出する事が出来る。

[0038] (実施例2)

実施例2は、試料14の誘電応答がDrudeモデルに従って記述されることが既知である例である。図3には、テラヘルツ波13の反射波の時間波形から試料14の位置情報を抽出した例を示す。

[0039] この例では、実測波形の振幅データに対するフィッティングを行い、試料等の位置ずれによる位相誤差が無い場合の応答波形のモデルをDrudeモデルによって計算した。フィッティングの結果を図2(b)において細い実線で示す。その結果から位相を数値計算した。数値計算の結果得られたデータを、図3において細い実線で示した。さらに、計算で得られた位相データ(図3において細線)と、実測された位相データ(図3において細い破線)とを比較した。その結果、位相の差(すなわち位相誤差)が周波数にほぼ比例することが見いだされた。位相差と周波数との比例係数から、反射波の位相誤差情報を取得できる。これに基づいて、テラヘルツ波13が照射された試料14の表面位置と基準点(仮定した参照表面位置)とのずれを算出できる。その結果、試料14の表面位置のずれ量は、 $(20 \pm 2) \mu\text{m}$ であると評価された。この位置のずれに伴う位相誤差を、実測された位相スペクトル(図3において細い破線)から除去することによって、図3において太い破線で示されるような位相スペクトルを得た。なお、誘電応答関数の算出は実施例5において述べる。他の実験条件は実施例1と同様である。

[0040] (実施例3)

最大エントロピー原理に基づき、位相誤差を抽出した例を図4に示す。最大エントロピー原理によると、有限長の時間信号においてはその情報数学的エントロピーが最大になっている。この仮定に基づいてテラヘルツ時間波形の解析を行うと、測定された位相 $\theta(\omega)$ は、試料の誘電応答に起因する成分 $\phi(\omega)$ と、実験・解析上の誤差に起因する成分 $\phi(\omega)$ とに分離される。位置のずれに伴う位相誤差は誘電応答とは無

関係であるので、 $\phi(\omega)$ に含まれる。 $\phi(\omega)$ は通常は極めて周波数依存性の少ない関数でなければならないが、測定試料と参照試料の位置がずれている場合はこの位置のずれに起因する大きな系統誤差が生じる。この性質を利用して $\phi(\omega)$ を解析することで位置のずれが抽出される。図4は、この方法を用いて位相誤差の抽出を行った結果である。この方法により見積もられた、試料表面位置の不一致量は、 $(20 \pm 2) \mu\text{m}$ である。他の実験条件は実施例2と同様である。

[0041] (実施例4)

抽出的クラマース・クローニツヒ変換(subtractive Kramers-Kronig transformation, SKK)により位相誤差を抽出した例を図5に示す。SKKは、ある周波数領域における $r(\omega)$ (または $\theta(\omega)$)といくつかの周波数(以降参照点と記す)における $\theta(\omega)$ (または $r(\omega)$)を用いて、その周波数領域における $\theta(\omega)$ (または $r(\omega)$)を計算する数値解析法であり、通常クラマース・クローニツヒ変換と同様に、因果律を満たしている物理量に対して適用可能である。反射波の波形から求められた複素反射率 $r(\omega)\exp(i\theta(\omega))$ は、試料における物理現象によって決定されるので因果律を満たしており、SKKを適用することができる。SKKは、通常クラマース・クローニツヒ変換に比べると、周波数域が有限であることによる数値計算精度の劣化が極めて小さい、という利点がある反面、参照点における $\theta(\omega)$ (または $r(\omega)$)の測定が難しい、という難点を有している。テラヘルツ波形解析においては、測定した周波数域全域において電磁波の振幅・位相が同時に得られるので、この難点を考慮する必要が無い。

[0042] 図5は、SKKにより位相から振幅を計算した結果である。実験で得られた位相 $\theta(\omega)$ からSKKにより得られた振幅 $r_{\text{err}}(\omega)$ は、測定された振幅 $r(\omega)$ とは全く異なる振舞を示している。このずれは位置ずれに起因すると考えられる。この差を最小にするために、 $\theta(\omega)$ に位置ずれによる位相の系統誤差に対応する補正を加えそれにSKK変換を施すと、得られた振幅 $r_{\text{cor}}(\omega)$ は、 $r(\omega)$ と極めて良い一致を示す。この過程で得られた最適補正值から、試料表面と参照試料表面のずれは $(20 \pm 2) \mu\text{m}$ であることが分かった。他の実験条件は実施例2と同様である。

[0043] (実施例5)

前記した実施例2～4において得られた位相誤差が誘電応答関数決定に与える影

響を評価する為に、測定で得られた複素反射率と位相を補正した複素反射率とを用いて複素屈折率を計算した。他方、本実験で用いた試料の誘電応答はDrudeモデルでよく記述されることが分かっているので、振幅に対してDrudeモデルでフィッティングを行い、複素屈折率を計算した。これらを同時にプロットしたものを図6に示す。明らかに、位相を補正した複素反射率(図6において太線)から求められた波形はDrudeモデルによる計算とよく一致しているが、測定された複素反射率から求められた複素屈折率(図6において破線)は、Drudeモデルによる予測と全く一致していない。

[0044] したがって、実施例2～4において得られた位相誤差に基づいて、試料の誘電応答を精度良く算出することができる。

[0045] また、本実施形態の方法によれば、例えば、不透明な基板の上に付着した試料の表面形状と、試料本来の誘電応答と同時に取得できるという、従来のイメージング技術にはない利点を発揮することができる。これにより、テラヘルツイメージング計測の適用範囲を大きく拡大することができ、材料開発等の広範な分野での利用が期待できる。

[0046] さらに、前記した方法により、表面平坦性の悪い試料において、面内での不均一な誘電応答のイメージング測定を表面形状測定と同時に行うことができる。したがって、本発明は、半導体素子の非破壊イメージング検査・禁止薬物等危険物質の非接触検出・ガン細胞検出等の、幅広い用途における活用が可能であるという利点がある。

[0047] なお、前記の例では、高周波電磁波としてテラヘルツ波を例示したが、高周波電磁波としては、テラヘルツ波以外の帯域であってもよい。例えば、本発明の方法は、位相情報を用いた分光全般に応用可能である。近年の超高速光計測技術の進歩を踏まえると、本発明は光領域での位相解析にも応用される可能性を有し、光技術の新たな展開において大きな寄与を果たし得る。

[0048] また、前記した例では、テラヘルツ波の発生部4および検出部9として非線形光学結晶を用いたが、これに限らず、これらのいずれか又は両方を光伝導アンテナとしてもよい。また、非線形光学結晶の材料も適宜なものを選択することができる。

[0049] (実施例6…形状を測定した例)

図7に示される試料の形状を測定した。この試料は、ジュラルミン合金製ブロック21

の上に、n-InAs(キャリア密度 $\sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、易動度 $\sim 20000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)の基板22を置き、その上からステンレスの板23を乗せた、半導体・金属合成試料である。ステンレス板23の中央には、穴23aが形成されている(図8及び図9参照)。また、基板22の厚さ l_1 は、この実施例ではほぼ0.4mmとなっており、ブロック21の上面からステンレス板23までの厚さ l_2 はほぼ0.5mmとなっている(図8参照)。

- [0050] ジュラルミン及びステンレスは、テラヘルツ波をほぼ完全に反射する、と考えられる。他方、n-InAsに関しては、キャリア集団運動に伴うプラズマ共鳴が生じるため、反射率が1.8 THz前後で急激に低下する。
- [0051] 上記の試料の上方から、試料上面の各点に於いてテラヘルツ波を照射し、反射波の振幅を測定する。この波形とあらかじめ測定しておいた参照波形を比較する事により、複素反射率が得られる。
- [0052] 複素反射率の振幅と位相の整合性から、位相誤差を抽出する。この位相誤差の値はテラヘルツ波反射面の位置に相当するので、試料表面における反射面位置の分布、即ち試料表面の形状が得られる。
- [0053] 本実施例においては、最大エントロピー法を用いた解析アルゴリズムを適用して、試料表面の形状を得た。しかし、subtractive Kramers-Kronig法等、他のアルゴリズムでも同様の結果が得られる。
- [0054] 得られた表面形状画像を図10及び図11に示す。図10は、得られた表面形状画像全体である。これを、図中の点線A-Aに沿って切断しその断面を観察すると、図11のようになる。図7～図9と比較する事により、試料表面の形状が正しく抽出されている事が確認される。詳しい計測データを図12に示す。
- [0055] 試料表面に平行な方向の分解能は、テラヘルツ波の回折によって制限され、本例では $200 \mu\text{m}$ 前後になっている。一方、断面方向の分解能は、この場合は様々な実験条件に制限され $50 \mu\text{m}$ 前後になっている。但し実験条件を整備する事により、この分解能はアルゴリズムそのものが持つ限界($10 \mu\text{m}$ 前後に達すると考えられる)まで向上する事が可能である。
- [0056] (アルゴリズムに関する補足説明)
- 念のため、反射波の時間波形から位相誤差の情報を取得するアルゴリズムの詳細

についての説明を以下に補足する。

[0057]

入射テラヘルツ電磁波の時間波形を $E_{in}(t)$ 、試料から反射されたテラヘルツ電磁波の時間波形を $E_{out}(t)$ と定義する。また、ある関数に Fourier 変換 (逆変換) 演算を適用することを $FT[]$ ($FT^{-1}[]$) と表す。この時、測定により得られる複素反射率 $\tilde{r}(\omega)$ は

$$\tilde{r}(\omega) = \frac{FT[E_{out}(t)]}{FT[E_{in}(t)]} \quad (*1)$$

で与えられる。尚、複素反射率の時間領域に対応する表式 $R(t) = FT^{-1}[\tilde{r}(\omega)]$ は、 $E_{in}(t) \cdot E_{out}(t)$ を用いて

$$E_{out}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) E_{in}(t - \tau) d\tau \quad (*2)$$

で与えられる。

[0058]

測定試料と参照試料の位置がずれている事により、参照波形 ($E_{in}(t)$) と測定波形 ($E_{out}(t)$) が感じる光路長には ΔL だけの差が生じる。その結果、実際の実験結果を (*1) 式に代入して得られる複素反射率 $\tilde{r}_{exp}(\omega)$ と正しい複素反射率 $\tilde{r}(\omega)$ の間には

$$\tilde{r}_{exp}(\omega) = \tilde{r}(\omega) \exp\left[i \frac{\omega \Delta L}{c}\right] \quad (*1')$$

の関係がある。

[0059]

以下に、 $\tilde{r}_{exp}(\omega)$ から ΔL を抽出する方法について述べる。図 13 に、測定試料 14a と参照試料 14b との間に位置ずれ ΔL が生じている状態を示した。図では、測定試料 14a と参照試料 14b とが並列に示されているが、実際は、参照試料 14b の代わりに測定試料 14a が設置されるのが通常である。

[0060]

(1. 最大エントロピー法: 実施例 3)

根拠となる原理: エントロピー最大の原理

[0061]

$E_{in}(t) \cdot E_{out}(t)$ の値が有限な時間領域においてのみ得られているので、(*2)の式により $R(t)$ も有限時間領域においてのみ値が定められる。このような関数について考える時、値が得られていない時間領域での信号の振舞については、可能な限り最大限に不確定のままに留めるべきである。

[0062]

数学的にこの条件を考察すると、 $|\tilde{r}(\omega)|$ は以下に示す様な解析式で表現されるべきである、という事が導かれる。

$$|\tilde{r}(\omega)| = \frac{b_0}{\left| 1 + \sum_{m=1}^M a_m \exp(-im\omega) \right|} \quad (*3)$$

[0063]

実験で得られた $|\tilde{r}(\omega)|$ と(*3)式を比較する事により、 a_m, b_0 の値が決定される。なお、(*3)式中Mの値については任意性が残っており、実験条件等に基づいて適切に設定する必要がある。

[0064]

(*3)式中のパラメータが決定されると、 $\tilde{r}(\omega)$ の位相 $\theta(\omega)$ は以下の様に分離される。

$$\theta(\omega) = \varphi(\omega) - \arg \left(1 + \sum_{m=1}^M a_m \exp(-im\omega) \right) \quad (*4)$$

[0065]

(*4)式右辺の第二項は、 $|\tilde{r}(\omega)|$ の周波数依存性を反映した成分(MEM位相)である。一方 $\varphi(\omega)$ は、 $|\tilde{r}(\omega)|$ の周波数依存性とは無関係の成分であり、一般にMEM位相に比べて変化に乏しい。

[0066]

以上の考察を、位置のずれ ΔL に伴う位相誤差が存在するスペクトルに応用する。まず、位置のずれは振幅には殆ど影響を及ぼさないと考えられるので、(*3)式中のパラメータ a_m, b_0 は位相誤差が無い場合と同じである。一方 $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega)$ の位相 $\theta_{\text{exp}}(\omega)$ は

$$\theta_{\text{exp}}(\omega) = \theta(\omega) + \omega\Delta L/c$$

と表される。この内 $\theta(\omega)$ は(誤差を含まない)真の位相である。先ほど計算したパラメータ a_m を(*4)式に代入しこの位相を書き直すと

$$\theta_{\text{exp}}(\omega) = \varphi(\omega) + \frac{\omega\Delta L}{c} - \arg\left(1 + \sum_{m=1}^M a_m \exp(-im\omega)\right)$$

となる。 $\theta_{\text{exp}}(\omega), a_m$ は既知であるので、

$$\varphi'(\omega) = \varphi(\omega) + \frac{\omega\Delta L}{c} \quad (*4')$$

に相当する部分を抽出する事が出来る。これを微分すると

$$\frac{d\varphi'(\omega)}{d\omega} = \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} + \frac{\omega\Delta L}{c} \quad (*4'')$$

となる。ここで $\varphi(\omega)$ は変化に乏しい関数で、その微分は極めて小さい($|d\varphi(\omega)/d\omega| \ll 1$)。従って(*4'')式は事実上 $d\varphi'(\omega)/d\omega \approx \Delta L/c$ とみなすことができ、光路長差の値 ΔL が抽出される。即ち、位相誤差が抽出された事になる。

[0067]

図14に、最大エントロピー法についての解説を示す。同図(a)は、 $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega)$ および振幅のみから決定されるMEM位相を示す。同図(b)は、MEM位相を差し引いた位相成分 $\varphi(\omega)$ から ΔL を抽出する様子を示す。これらの図において、実線は、変位無し($\Delta L = 0$)、粗い破線は、変位あり($\Delta L \neq 0$)、細かい破線は、MEM位相を示している。

[0068]

(2.Singly-subtractive Kramers-Kronig 法:実施例4)

根拠となる原理: 因果律(現在起こっている現象は、過去に起こった現象のみを用

いて記述されるという原理)

[0069] (*2)式に対して因果律を適用すると、(*2)式は以下の様に変形される。

$$E_{out}(t) = \int_0^{\infty} R(\tau) E_{in}(t - \tau) d\tau \quad (*2')$$

[0070] 時刻 $\tau < 0$ における $E_{in}(t - \tau)$ の値は、現時刻(t)より先の時刻における値であり、即ち未来に於ける現象を表す値である。因果律に基づけば、これを現時刻での現象を記述する際には用いるべきではない。

[0071] これは、 $R(t)$ に対して、

$$R(t) = 0(t < 0) \quad (*2'')$$

という条件を課した上で(*2)式を使う事と等価である。

[0072] (*2'')の条件がある時、 $\tilde{r}(\omega) = FT[R(t)]$ が複素数空間において滑らかな関数である、という条件を課すと、その実部と虚部はKramers-Kronigの関係式によって互いに関連づけられる。

$$\begin{aligned} \text{Re } \tilde{r}(\omega) &= \frac{2}{\pi} \oint_0^{\infty} \frac{\omega' \text{Im } \tilde{r}(\omega')}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega' \\ \text{Im } \tilde{r}(\omega) &= -\frac{2\omega}{\pi} \oint_0^{\infty} \frac{\omega' \text{Re } \tilde{r}(\omega')}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega' \end{aligned} \quad (*5)$$

[0073] 光学領域の実験においては振幅 $|\tilde{r}(\omega)|$ が得られるので、上記の関係を振幅 $|\tilde{r}(\omega)|$ と位相 $\theta(\omega)$ の満たす関係に変換する方が使い勝手が良い。そこで(*5)式を変換することにより、振幅の全周波数における値から位相を計算する事が可能な(*5')式が導かれる。

$$\theta(\omega) = -\frac{2\omega}{\pi} \oint_0^{\infty} \frac{\ln |\tilde{r}(\omega')|}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega' \quad (*5')$$

[0074] なお、位相から振幅への変換式は、一応導かれているものの、ほとんど使われない。理由は

- 同じ振幅に(因果律、と言う観点から)適合する位相が一意に決定できない

・実際のデータ解析に置いて、位相のみが得られる、と言うケースが殆どないからである。

[0075] なお、Kramers-Kronigの関係式において、積分区間は全周波数に渡っているが、実際のデータはある有限な区間に留まっている。この影響を避けるため、実際のデータを解析する際は、様々な手法を用いて測定範囲外のデータを補間する、と言う事が行われる。以降この問題を「データ範囲有限性の問題」と称する。

[0076] (*5')式を導く過程において、ある周波数 ω_1 において位相の値が得られているとする。この場合、(*5')式を周波数 ω と ω_1 の場合について書き下し、差をとる事によって

$$\frac{\theta(\omega)}{\omega} = \frac{\theta(\omega_1)}{\omega_1} - \frac{2(\omega^2 - \omega_1^2)}{\pi} \oint_0^\infty \frac{\ln|\tilde{r}(\omega')|}{(\omega'^2 - \omega^2)(\omega'^2 - \omega_1^2)} d\omega' \quad (*5'')$$

$$\ln|\tilde{r}(\omega)| = \ln|\tilde{r}(\omega_1)| + \frac{2(\omega^2 - \omega_1^2)}{\pi} \oint_0^\infty \frac{\omega' \theta(\omega')}{(\omega'^2 - \omega^2)(\omega'^2 - \omega_1^2)} d\omega'$$

という関係式が得られる。(*5'')式を用いる事により、「振幅の全周波数の値+位相のある周波数 ω_1 での値」から「位相の全周波数での値」を計算する事が出来る。また、(*5)式の場合とは異なり、位相の全周波数での値及び振幅のある周波数 ω_1 での値から振幅の全周波数での値を計算する事も可能である。(*5'')式を、Singly-subtractive Kramers-Kronig 関係式、と呼ぶ。これは、実施例4で説明したsubtractive Kramers-Kronigの関係と同じものである。

[0077] この式においては、標準的なKramers-Kronigの関係式に比べて、データ範囲有限性の問題が及ぼす影響が小さい。しかし、光学領域での実験に於いては常に振幅のみが得られるので、ある周波数に置ける位相の値を必要とするこの手法が用いられる事はあまり無かった。他方テラヘルツパルスによる分光法においては、振幅スペクトルと同じ周波数領域において位相スペクトルが得られるので、(*5'')式を利用できる可能性が飛躍的に高まる。

[0078] 以下に(*5'')式を用いて、位置のずれに起因する位相誤差を含んだ複素反射率 $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega)$ から位相誤差を抽出する方法を述べる。もし ΔL が 0 でない場合、 $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega)$ の振幅と位相は複素空間において滑らかではなくなり、(*5'')式を導く前提条件が崩れてしまう。従って(*5'')式は成り立たない。この事を利用して、以下の様な手段で ΔL の値を抽出する。

- [0079]
1. $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega)$ に対し適当に ΔL を仮定し、 $\theta_{\text{cor}}(\omega) = \theta_{\text{exp}}(\omega) - \frac{\omega \Delta L}{c}$ の式に従って位相誤差を補正する。この位相を使って得られる複素反射率を $\tilde{r}_{\text{cor}}(\omega)$ と置く。
 2. $\theta_{\text{cor}}(\omega)$ を(*5'')式に代入して振幅を計算する。
 3. 実験結果 $|\tilde{r}(\omega)|$ と比較し、ずれを計算する。尚、 ΔL の符号によりずれる向きが変わる事を利用して、1.の補正後も残っている位相誤差の量を推定する。
 4. 3.の推定に基づいて ΔL を変更し、1.~3.を繰り返す。
 5. あらかじめ定めておいた基準よりも3.における誤差が小さくなった時点で計算を終了する。

[0080] SSKKによる位相から振幅への変換の様子を、図15に示す。 $\Delta L = 0$ の時（つまり図中で実線）、得られた振幅スペクトルは本来の振幅スペクトル（図15（a）の太線）と良い一致を示す。しかし、 $\Delta L \neq 0$ （図中破線）であれば、両者は全く一致しない。しかもそのずれる傾向は ΔL の符号に応じて変化する。

[0081] (3. Smith & Manogueの方法：実施例4に近似する別のアルゴリズム)
 テラヘルツパルスを用いた分光においては、複素反射率 $\tilde{r}(\omega)$ の実部と虚部が同時に得られる。故に(*5)式を直接用いて、測定した $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega)$ に ΔL に起因する誤差が含まれているか否かを検出する事が可能である。

- [0082] 一般に $\tilde{r}(\omega)$ が複素数空間において滑らかであれば、それをベキ乗した関数 $\tilde{r}^n(\omega)$ (整数 n) も滑らかであるので、 $\tilde{r}^n(\omega)$ に対して Kramers-Kronig の関係式を適用する事が出来る。即ち、整数 n に対して次式が成立する。

$$\begin{aligned}\operatorname{Re}[\tilde{r}^n(\omega)] &= \frac{2}{\pi} \oint_0^\infty \frac{\omega' \operatorname{Im}[\tilde{r}^n(\omega')]}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega' \\ \operatorname{Im}[\tilde{r}^n(\omega)] &= -\frac{2\omega}{\pi} \oint_0^\infty \frac{\operatorname{Re}[\tilde{r}^n(\omega')]}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega'\end{aligned}\quad (*6)$$

- [0083] データ範囲有限性の問題に関しても、 $\tilde{r}^n(\omega)$ で整数 n の値を大きくする事により、その影響が緩和される事も明らかになっている。これを Smith & Manogue (S & M) の関係と呼ぶ。

- [0084] 実際のデータ $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega)$ を解析する場合について考える。

- [0085] $\Delta L < 0$ の場合、 $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega)$ は複素空間において滑らかでなくなり、(*5)式を導くのに必要な前提条件が崩れるので、(*5)式に従って実部から虚部を計算すると、実験結果の虚部と一致しない(逆の関係も同様に成立する)。またこの傾向は、 n を大きくする事で顕著になる。

$\Delta L \leq 0$ の場合、 $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega)$ は複素空間において滑らかであり、(*5)式が成立する。従って(*5)式に従って実部から虚部を計算すると、実験結果の虚部と一致する。このことは、 $\Delta L > 0$ の場合に誤って「位置のずれは無い」と判定してしまう可能性がある事を示している。

[0086] 実際にデータ解析を行う方法について述べる(図16)。既に述べた様な事情により、人為的に $\Delta L < 0$ になる様に加工された場合についてのみ考える。図16は、Smith & Manogue (S & M) の関係による、 $\tilde{r}_{\text{exp}}^n(\omega)$ に対する解析の様子($n=5$)を示すグラフである。同図(a)及び同図(b)は、 $\Delta L = 0$ の場合、同図(c)及び同図(d)は、 $\Delta L < 0$ の場合を示している。また、図中の実線はオリジナル(測定値)、破線はS & Mのアルゴリズムによる結果を示している。

[0087] まず $\Delta L < 0$ に伴う位相誤差を含んだ反射率スペクトル $\tilde{r}_{\text{exp}}(\omega) = \tilde{r}(\omega)\exp[i\omega\Delta L/c]$ (実部: (c)の実線 虚部: (d)の実線)について、(*6)式を用いて実部から虚部(虚部から実部)への変換を行う。変換の結果得られた実部(図16(c)の破線)・虚部(図16(d)の破線)のスペクトルを変換前のスペクトルと比較すると、両者は非常に大きく食い違っている。これは、位相誤差により(*6)式を導く際の前提条件が破綻した事に起因している。

[0088] 一方、位相誤差を取り除いた反射率スペクトルに対して、(*6)式を用いた変換を同様に行い、実部・虚部スペクトル各々を変換前(図16(a)の実線、図16(b)の実線)と変換後(図16(a)の破線、図16(b)の破線)で比較すると、両者は極めて良く一致する。これは位相誤差を取り除いた結果、(*6)式を導く前提条件が満たされる様になったからである。

[0089]

そこで、以下の様な繰り返しループを行って、位相誤差 ΔL を抽出する事が出来る。

1. (*6)式に従い、反射率スペクトル $\tilde{r}_{\text{exp}}^n(\omega)$ の実部・虚部を変換し、 $\tilde{r}_{\text{exp},S\&M}^n(\omega)$ を得る。
2. $\Delta = |\tilde{r}_{\text{exp},S\&M}^n(\omega) - \tilde{r}_{\text{exp}}^n(\omega)|$ を計算する。もし Δ があらかじめ決めておいた基準値よりも小さければ、位相誤差を取り除いたと判断し、手続きを終了する。
3. そうでなければ、 $\tilde{r}_{\text{exp}} \rightarrow \tilde{r}_{\text{exp}} \exp[i\omega m \Delta l / c]$ に従って反射スペクトルを変換する。但し m は繰り返しループを行った回数、 Δl は補正する最小単位である。

[0090]

上記1~3を繰り返し、初めて Δ が基準値を下回った際に、 $\Delta L = m \Delta l$ として位相誤差が抽出される。このようにして得た位相誤差を用いて、試料の形状情報を取得できる。

[0091]

なお、本発明の計測方法は、上記した例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得るものである。例えば、解析部15は、遠隔地に配置されていても良い。また、解析部15は、ネットワークで接続された複数のコンピュータにより構築されていても良い。さらに、解析部15は、他のハードウェアの一部であってもよい。

図面の簡単な説明

[0092] [図1]本発明の実施例において用いられる測定装置の概略的な構成を説明するための説明図である。

[図2]図(a)は、実施例1において、試料で反射された反射波の時間波形を示すグラフである。図(a)において実線は、測定試料の計測データを示し、破線は、参照試料の計測データを示している。図(b)は、振幅と位相の周波数スペクトルを示すグラフである。図(b)の破線は、測定試料のスペクトルを示し、実線は、Drudeモデルによる、試料の位置ずれがない場合の応答波形におけるスペクトルを示す。

[図3]実施例2において、試料で反射された反射波の時間波形における振幅と位相

を示すグラフである。図中の細い破線は、実験により得られたデータ(実測値)を示し、図中の太い破線は、Drudeモデルへのフィッティングにより修正された実験データを示し、図中の細線は、Drudeモデルによる計算結果を示す。

[図4]実施例3において、試料で反射された反射波の位相誤差のうち、試料の誘電応答に起因する成分 $\phi(\omega)$ と実験・解析上の誤差に伴う成分 $\phi(\omega)$ とをそれぞれ示すグラフである。

[図5]実施例4において、反射波の周波数と振幅との関係を示すグラフである。図中太線は $r_{\text{err}}(\omega)$ を示し、図中破線は $r_{\text{cor}}(\omega)$ を示し、図中細線は $r(\omega)$ を示す。

[図6]実施例5において、複素屈折率と周波数との関係を示すグラフである。図中破線は実験によって得られたデータそのものを示し、図中太線は修正したデータを示し、図中細線は理論値を示す。

[図7]形状を測定した試料の概略的な斜視図である。

[図8]図7の試料の側面図である。

[図9]穴を有するステンレス板の平面図である。

[図10]測定によって得られた表面形状画像である。

[図11]図10における点線に沿って切断しその断面を観察した画像である。

[図12]試料表面の計測データの一例である。

[図13]測定試料と参照試料との間に位置ずれが生じている状態を説明するための説明図である。

[図14]最大エントロピー法を説明するためのグラフである。

[図15]SSKKによる位相から振幅への変換の様子を示す図である。これらの図において、実線は、変位無し($\Delta L=0$)、粗い破線は、変位が正($\Delta L>0$)、細かい破線は、変位が負($\Delta L<0$)を示している。

[図16]Smith & Manogue(S&M)の関係による解析の様子($n=5$)を示すグラフである。

符号の説明

- [0093] 1 レーザ発生部
 2 ハーフミラー

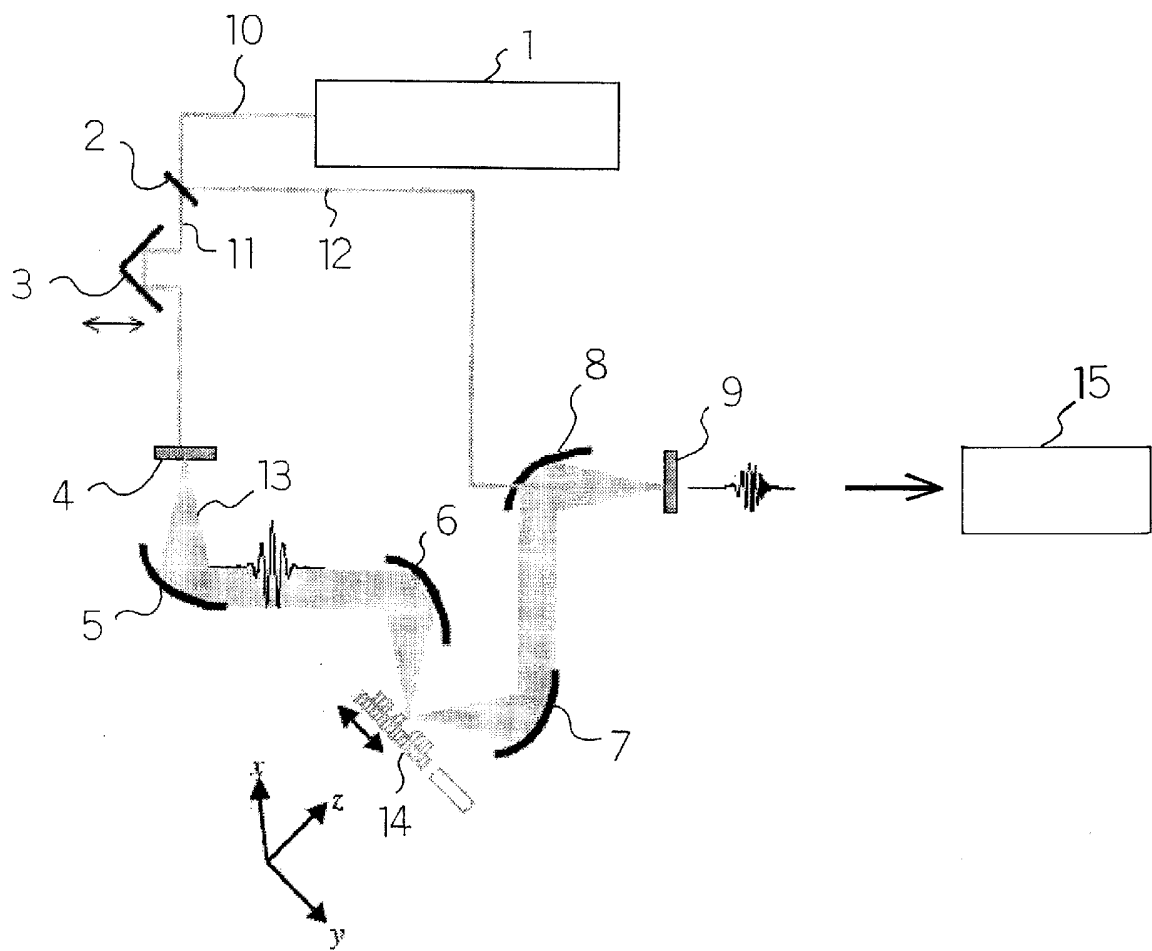
- 3 光学遅延部
- 4 テラヘルツ波の発生部
- 5・6・7・8 放物面鏡
- 9 反射波の検出部
- 10 レーザ光
- 11 ポンプ光
- 12 プローブ光
- 13 テラヘルツ波
- 14 試料
- 14a 測定試料
- 14b 参照試料
- 15 解析部
- 21 ジュラルミン合金製ブロック
- 22 n-InAs基板
- 23 ステンレス板

請求の範囲

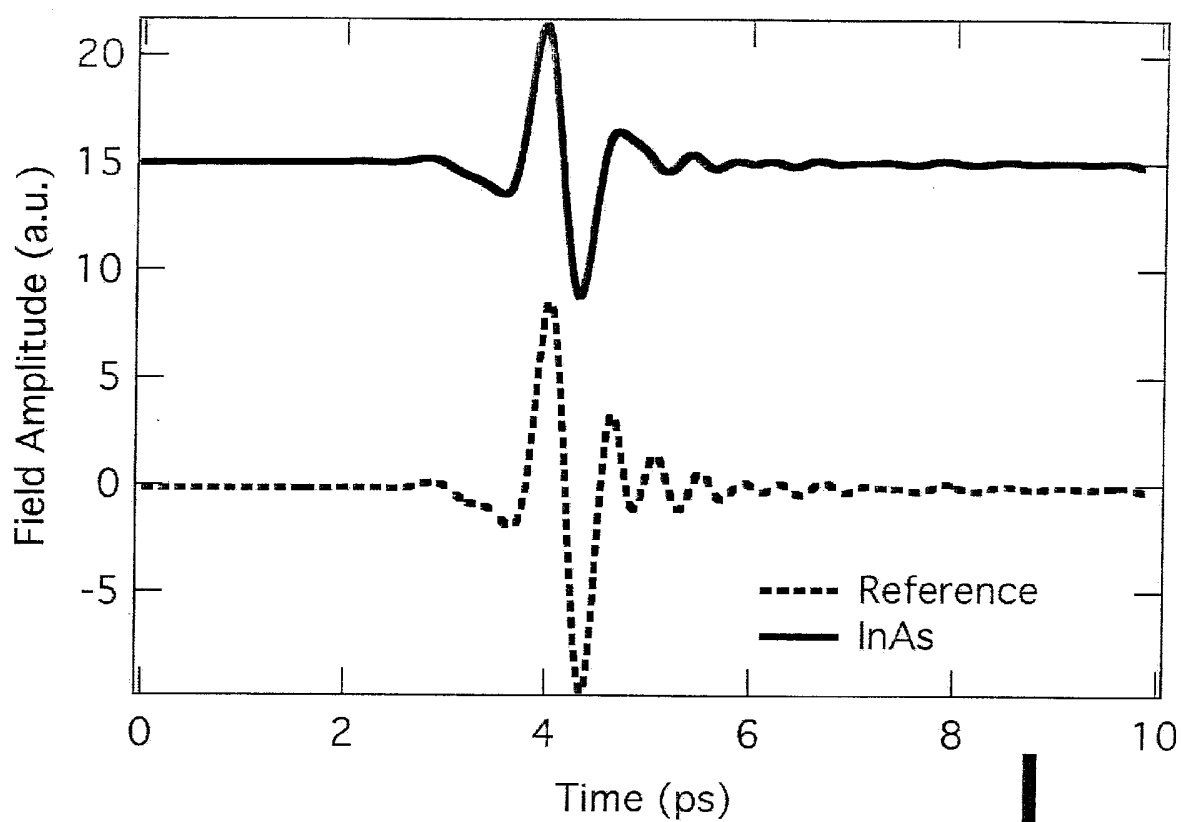
- [1] 以下のステップを備えることを特徴とする、高周波電磁波を用いた計測方法：
(1) 高周波電磁波を試料に照射し、試料による反射波の時間波形を測定するステップ；
(2) 前記時間波形の特徴を解析することにより、前記反射波の時間波形における位相誤差の情報を得るステップ。
- [2] さらに以下のステップを備えることを特徴とする、請求項1に記載の計測方法：
(3) 前記位相誤差の情報に基づいて、前記試料の表面における形状情報を得るステップ。
- [3] 前記形状情報は、前記試料表面の二次元形状情報であることを特徴とする、請求項2に記載の計測方法。
- [4] さらに以下のステップを備えることを特徴とする、請求項1に記載の計測方法：
(3) 前記位相誤差の情報に基づいて、前記試料における誘電応答を得るステップ。
- [5] さらに以下のステップを備えることを特徴とする、請求項1に記載の計測方法：
(3) 前記位相誤差の情報に基づいて、前記試料の表面における形状情報と、前記試料における誘電応答とを共に得るステップ。
- [6] 前記高周波電磁波は、光伝導アンテナ又は非線形光学結晶を用いて発生させられたものであることを特徴とする、請求項1～5のいずれか1項に記載の計測方法。
- [7] 前記反射波は、光伝導アンテナ又は非線形光学結晶を用いて検出されることを特徴とする、請求項1～6のいずれか1項に記載の計測方法。
- [8] 前記高周波電磁波はテラヘルツ波であることを特徴とする、請求項1～7のいずれか1項に記載の計測方法。
- [9] 高周波電磁波の発生部と、高周波電磁波の検出部と、解析部とを備え、
前記発生部は、試料に対して高周波電磁波を照射するものであり、
前記検出部は、前記試料によって反射された前記高周波電磁波(反射波)を検出するものであり、
前記解析部は、前記検出部で検出された前記反射波の時間波形の特徴を解析することにより、前記反射波の時間波形における位相誤差の情報を得る構成となっている

ことを特徴とする、高周波電磁波を用いた計測装置。

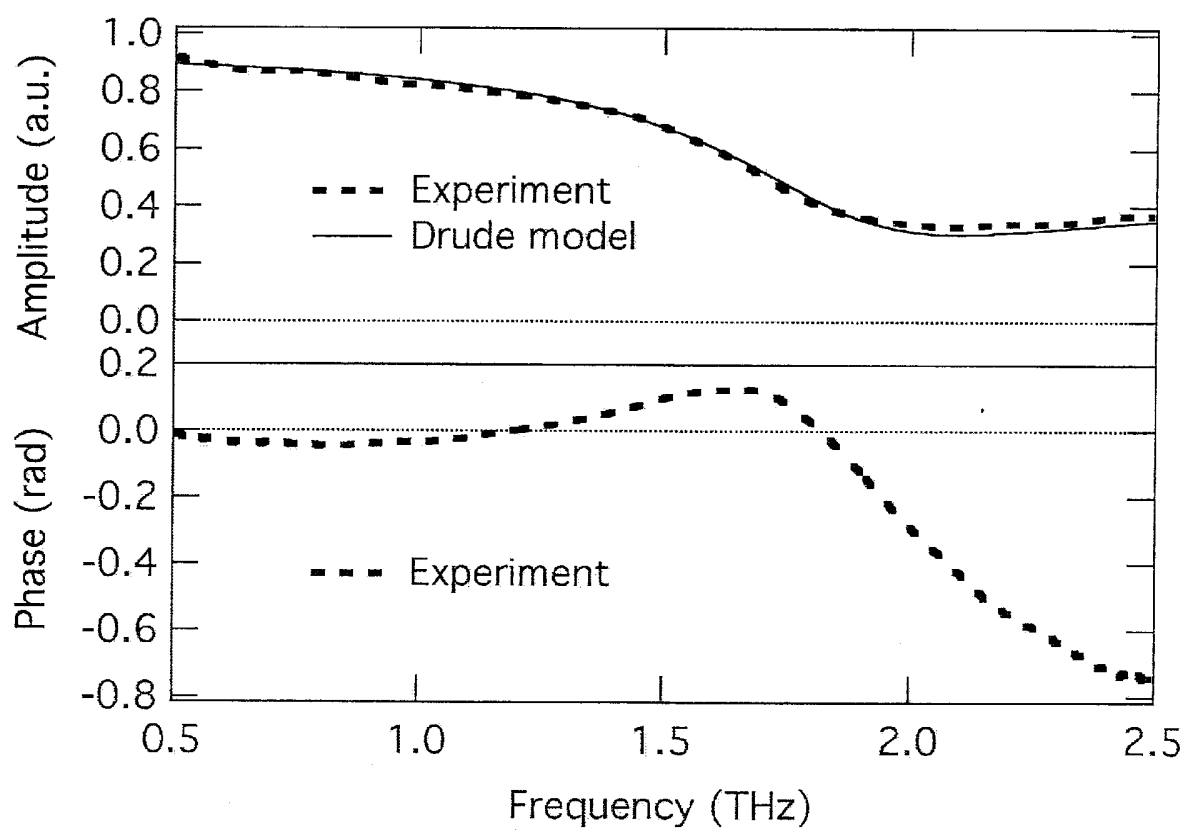
[図1]



[図2]

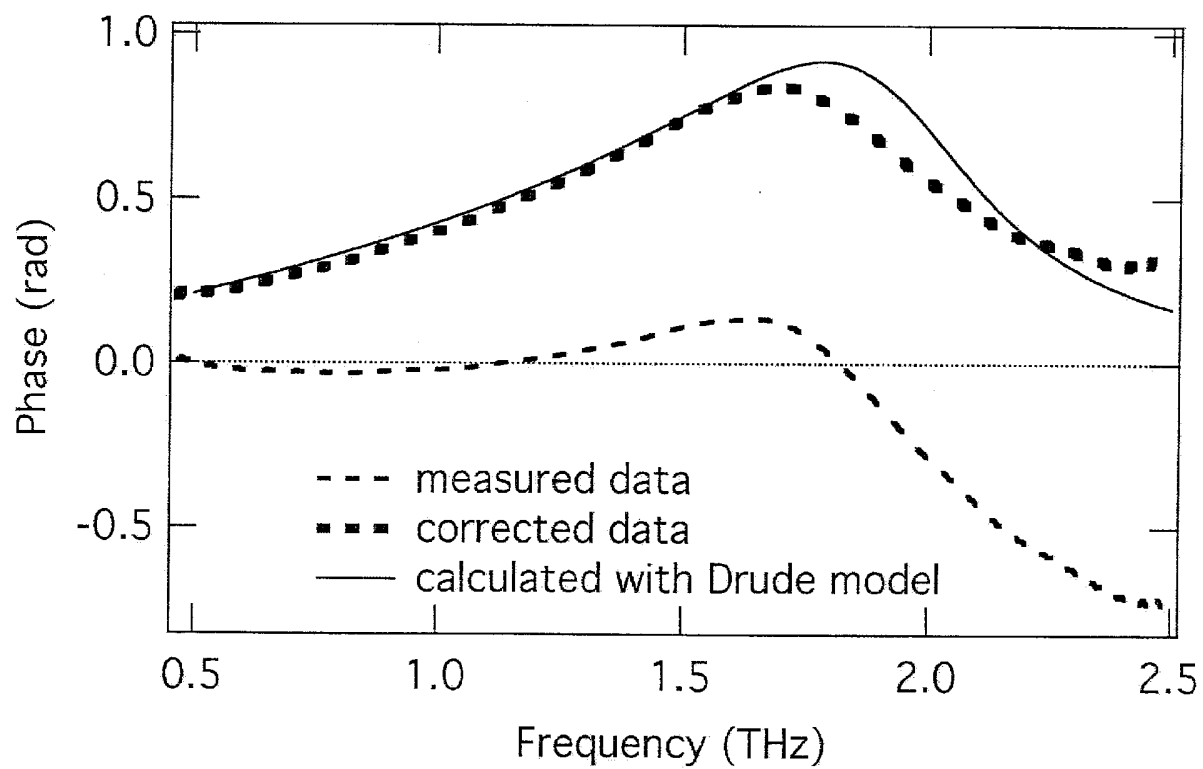


(a)

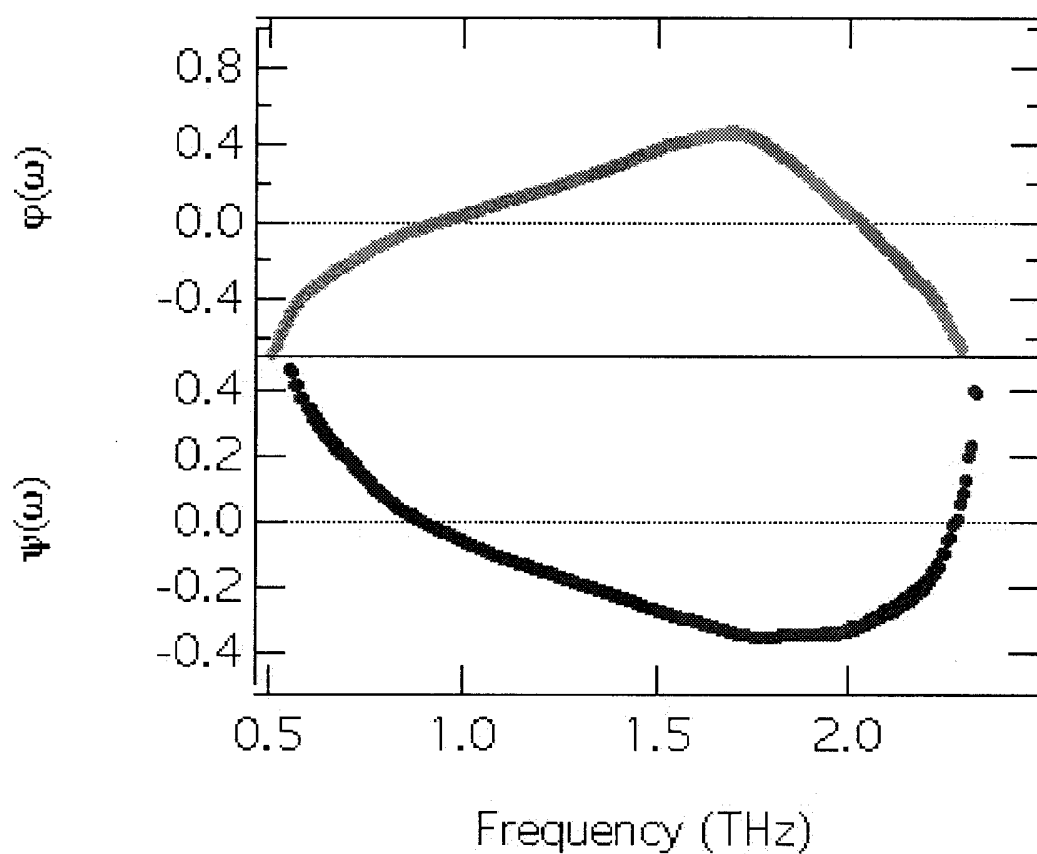


(b)

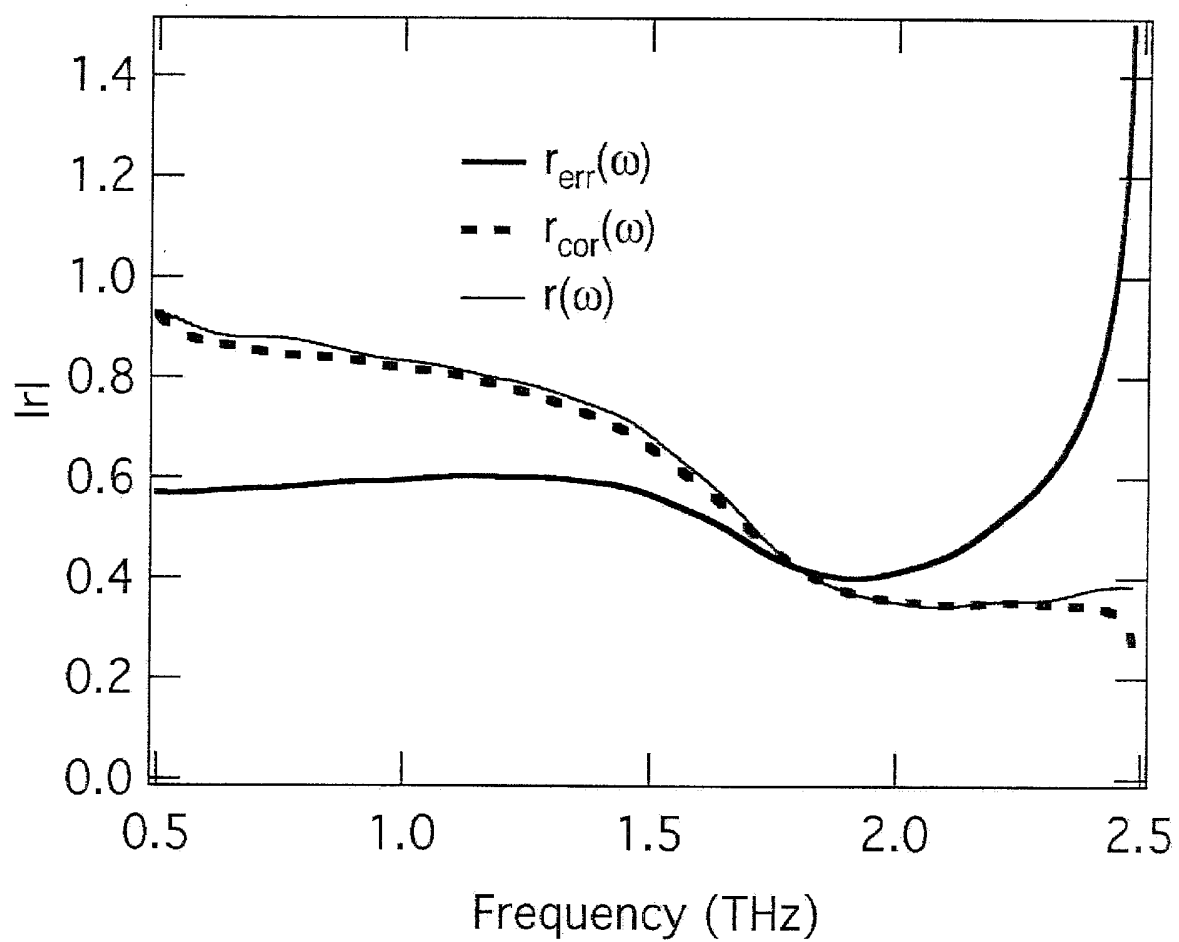
[図3]



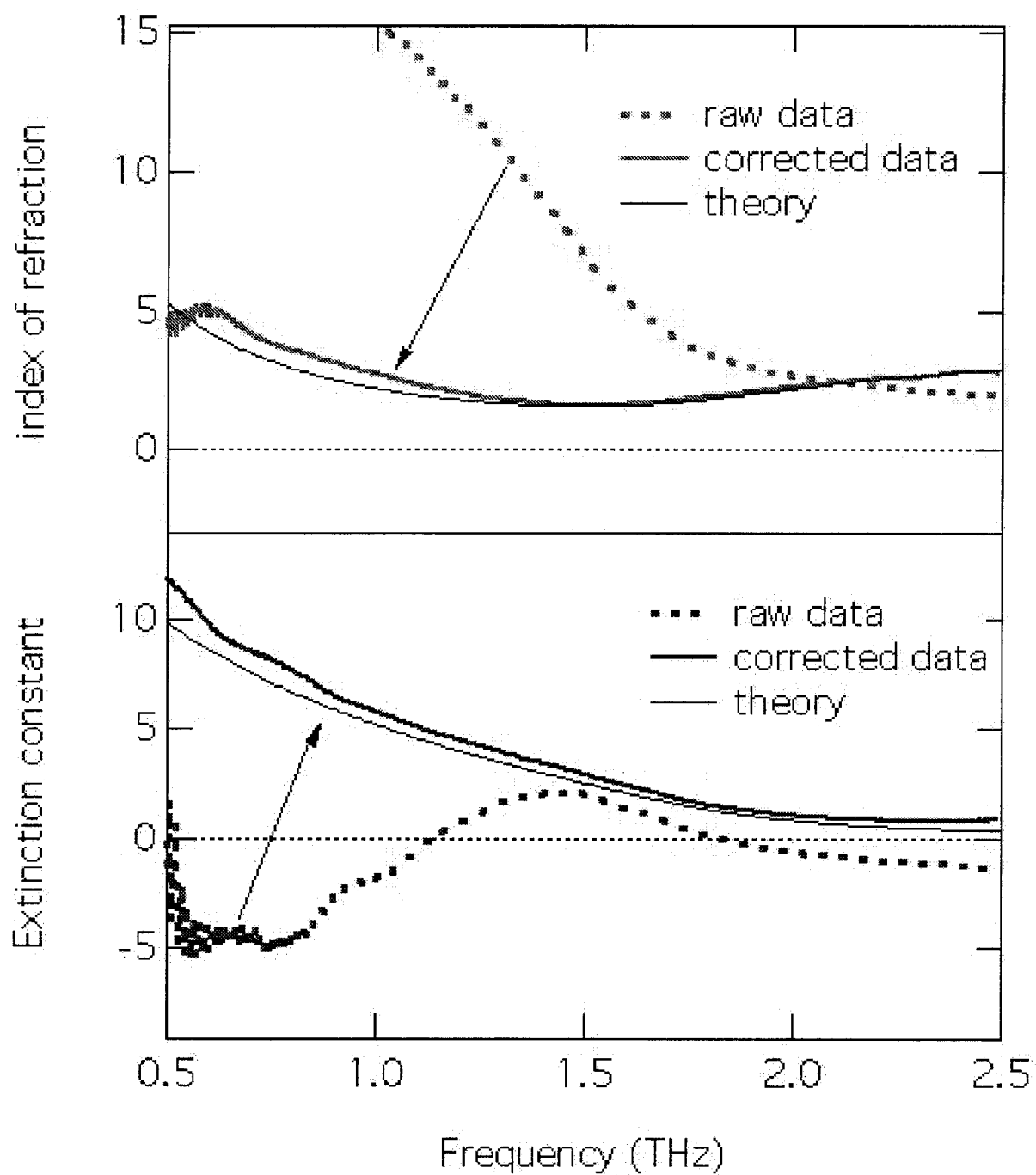
[図4]



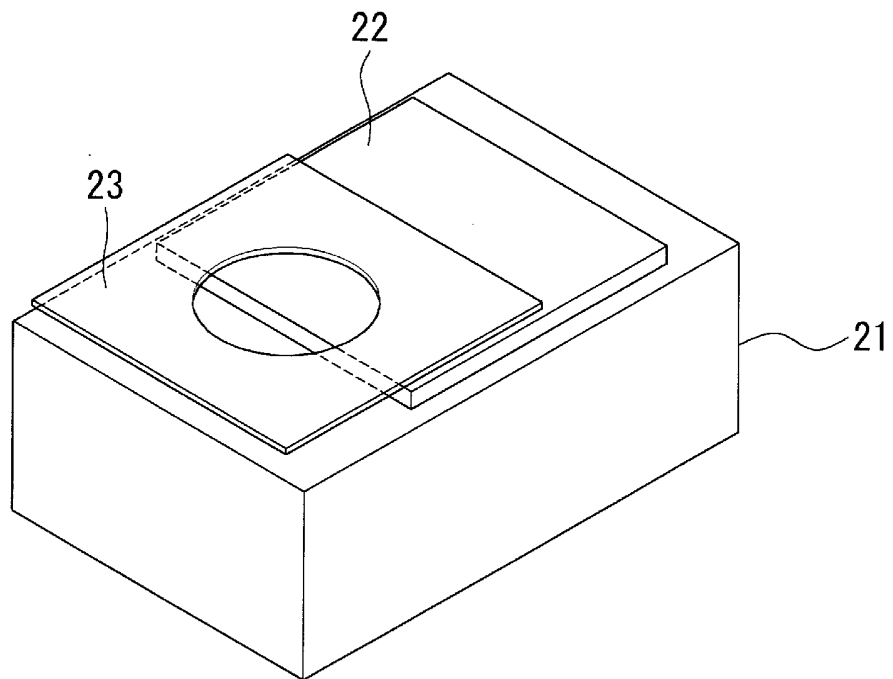
[図5]



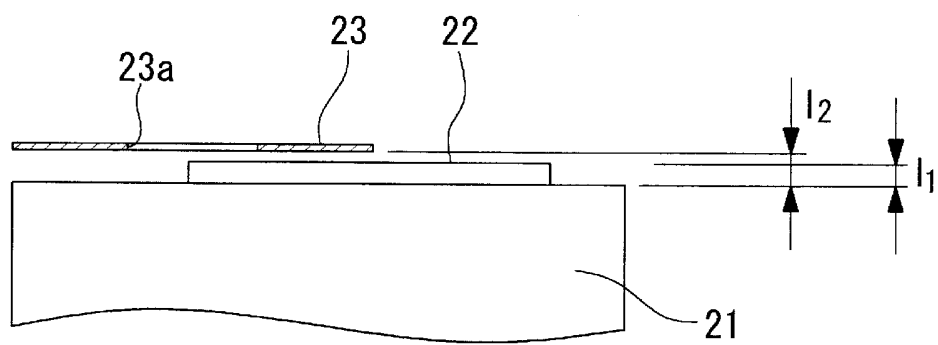
[図6]



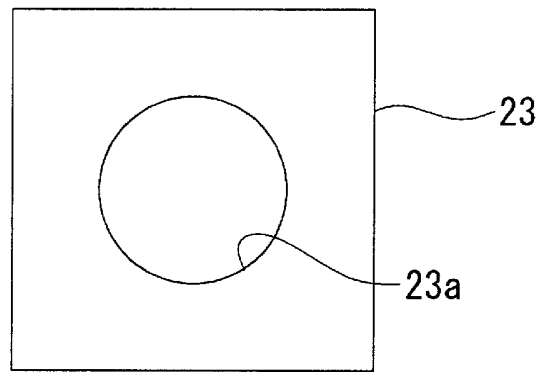
[図7]



[図8]

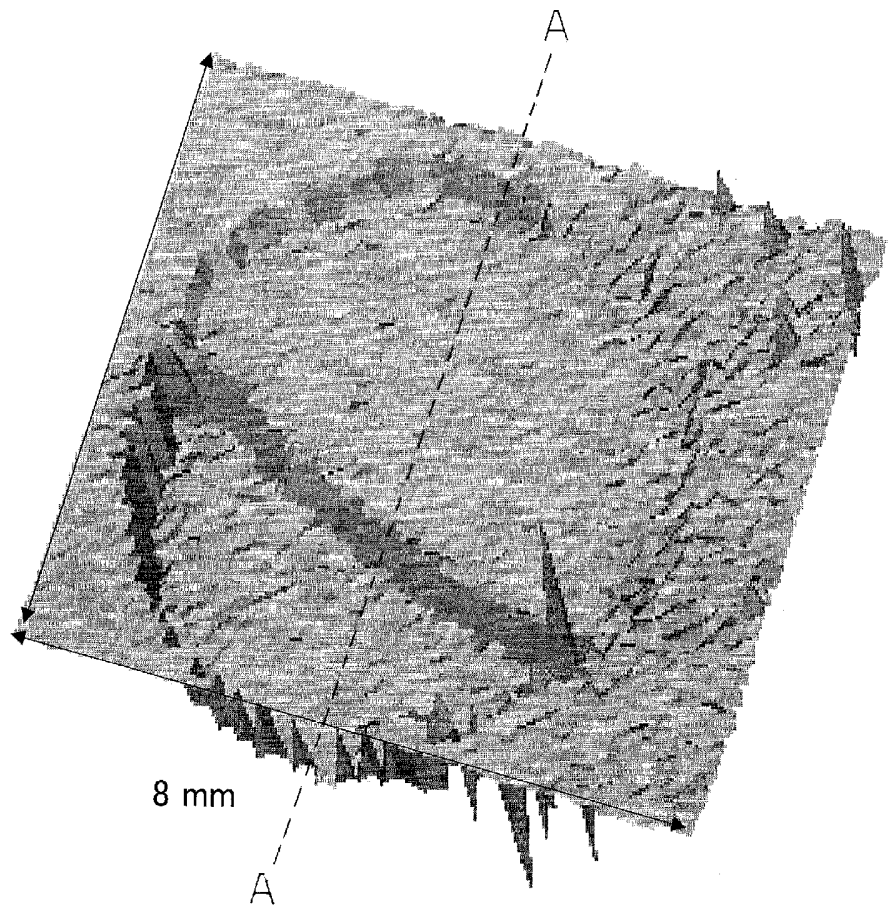


[図9]

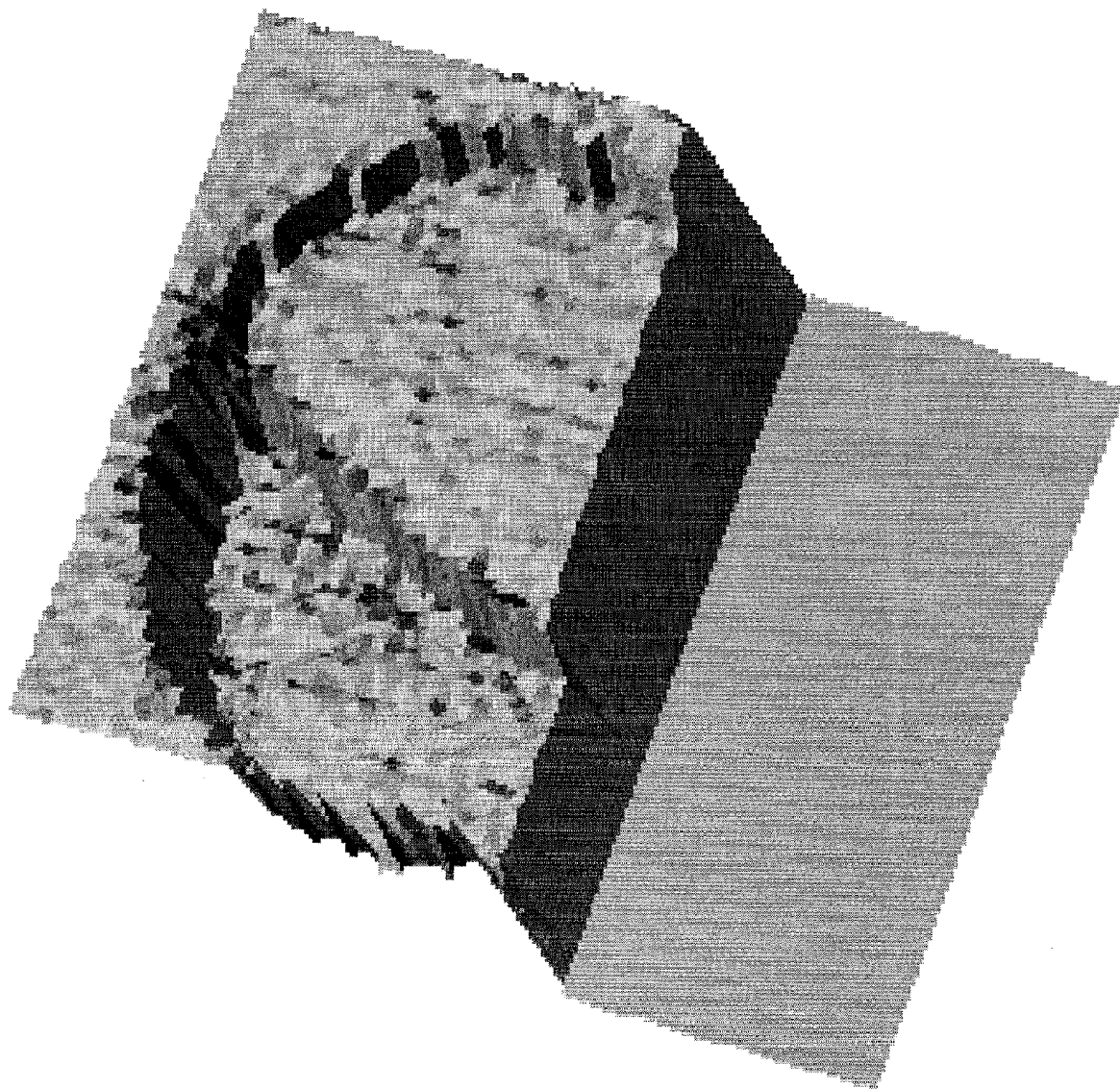


[図10]

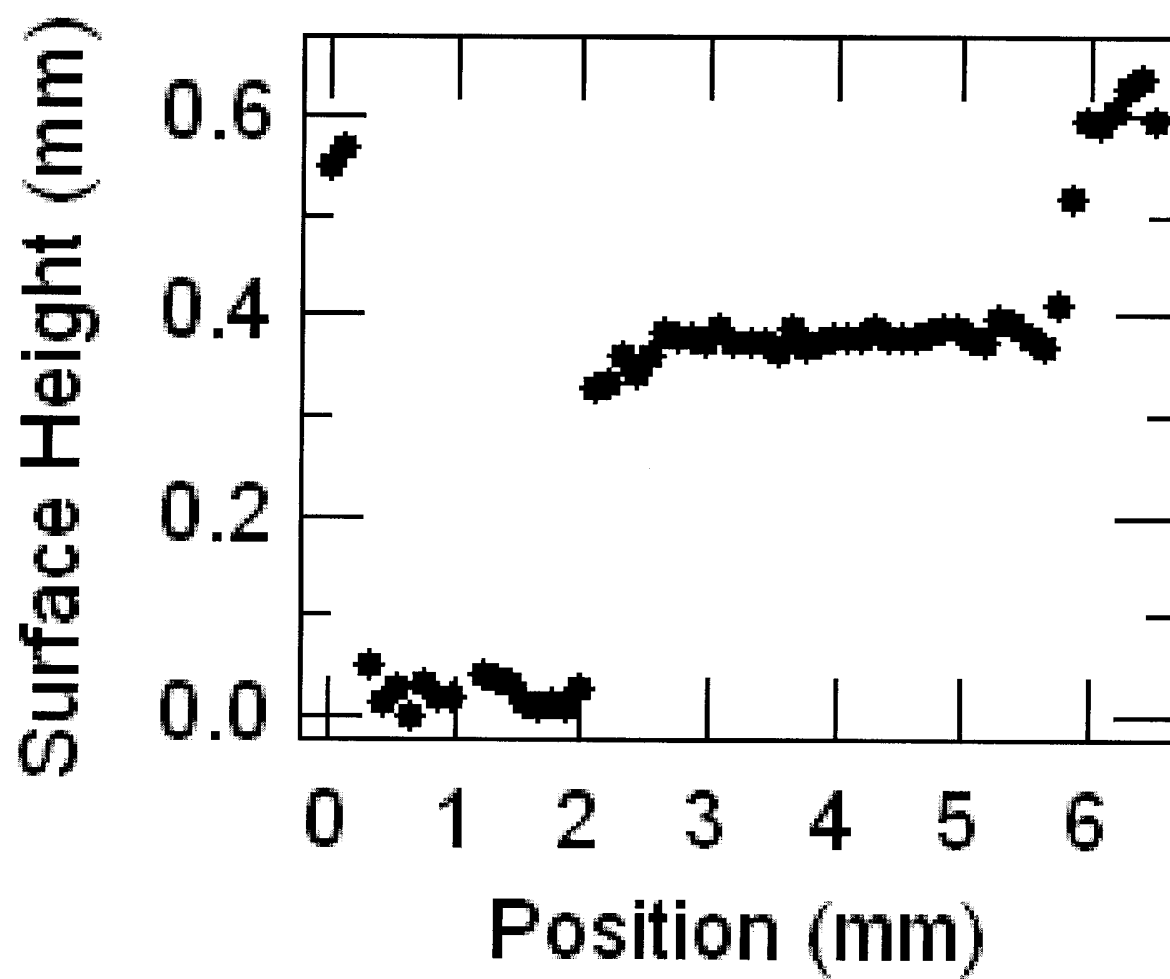
6.5 mm



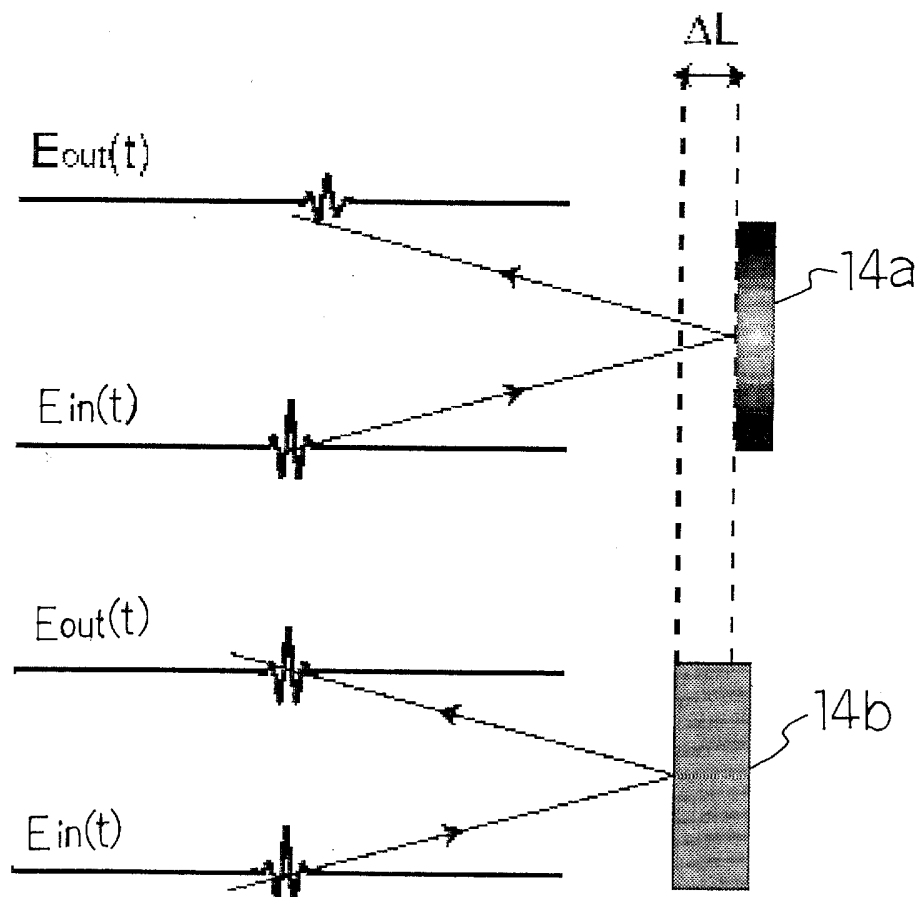
[図11]



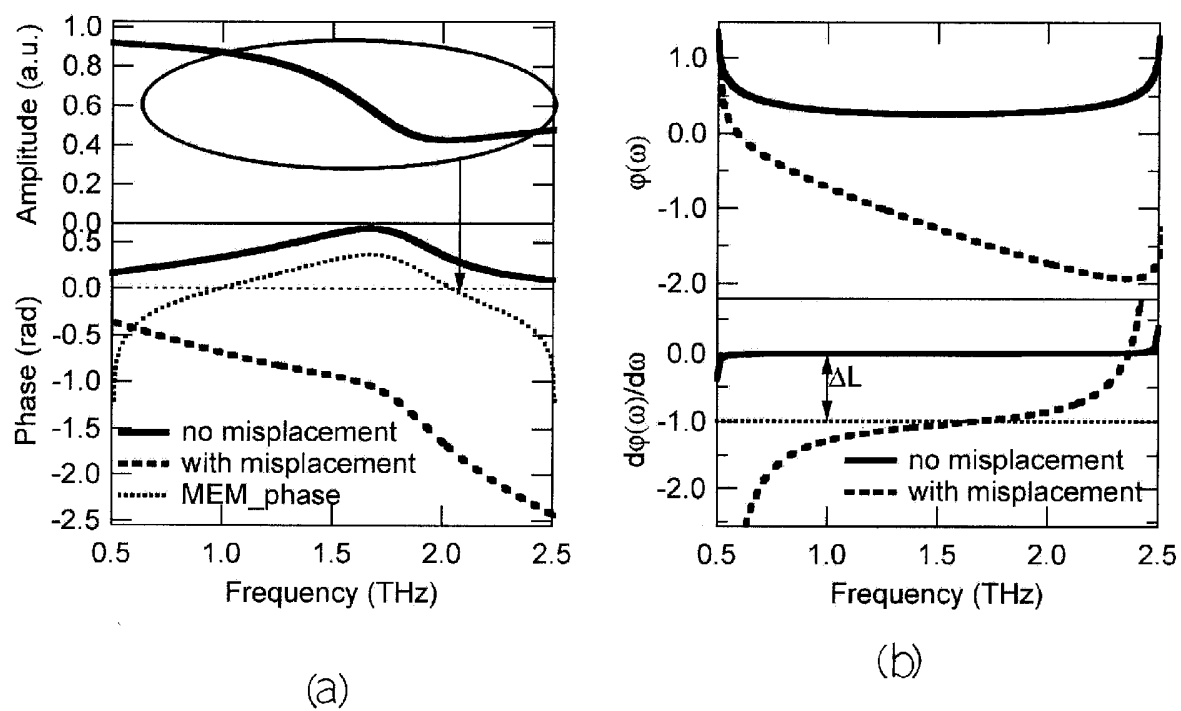
[図12]



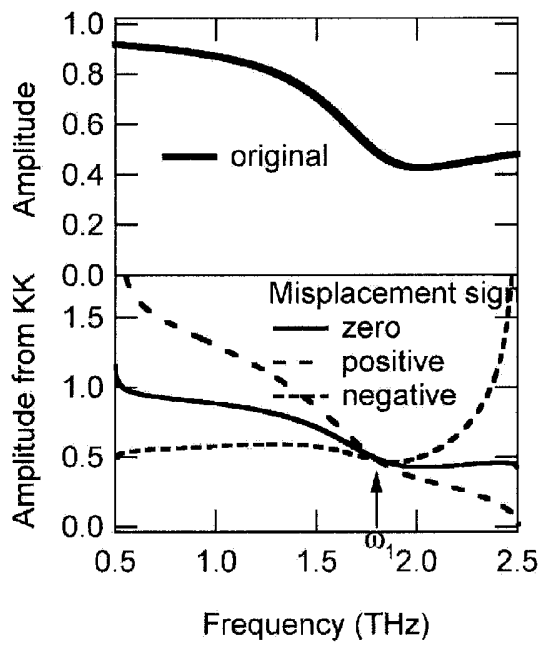
[図13]



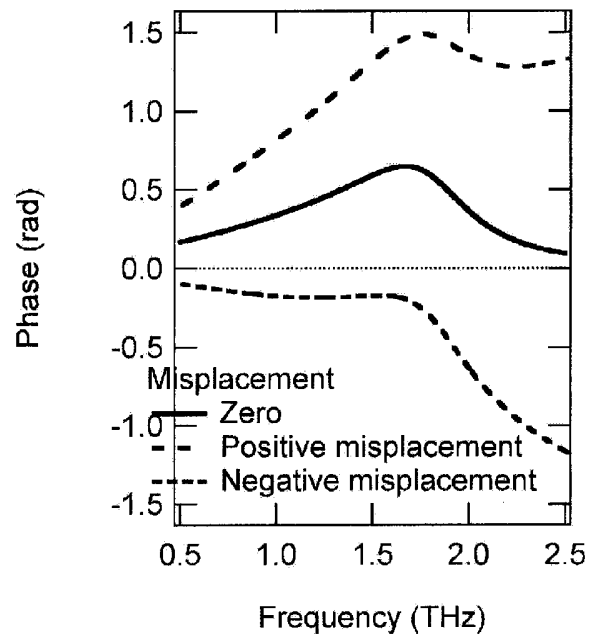
[図14]



[図15]

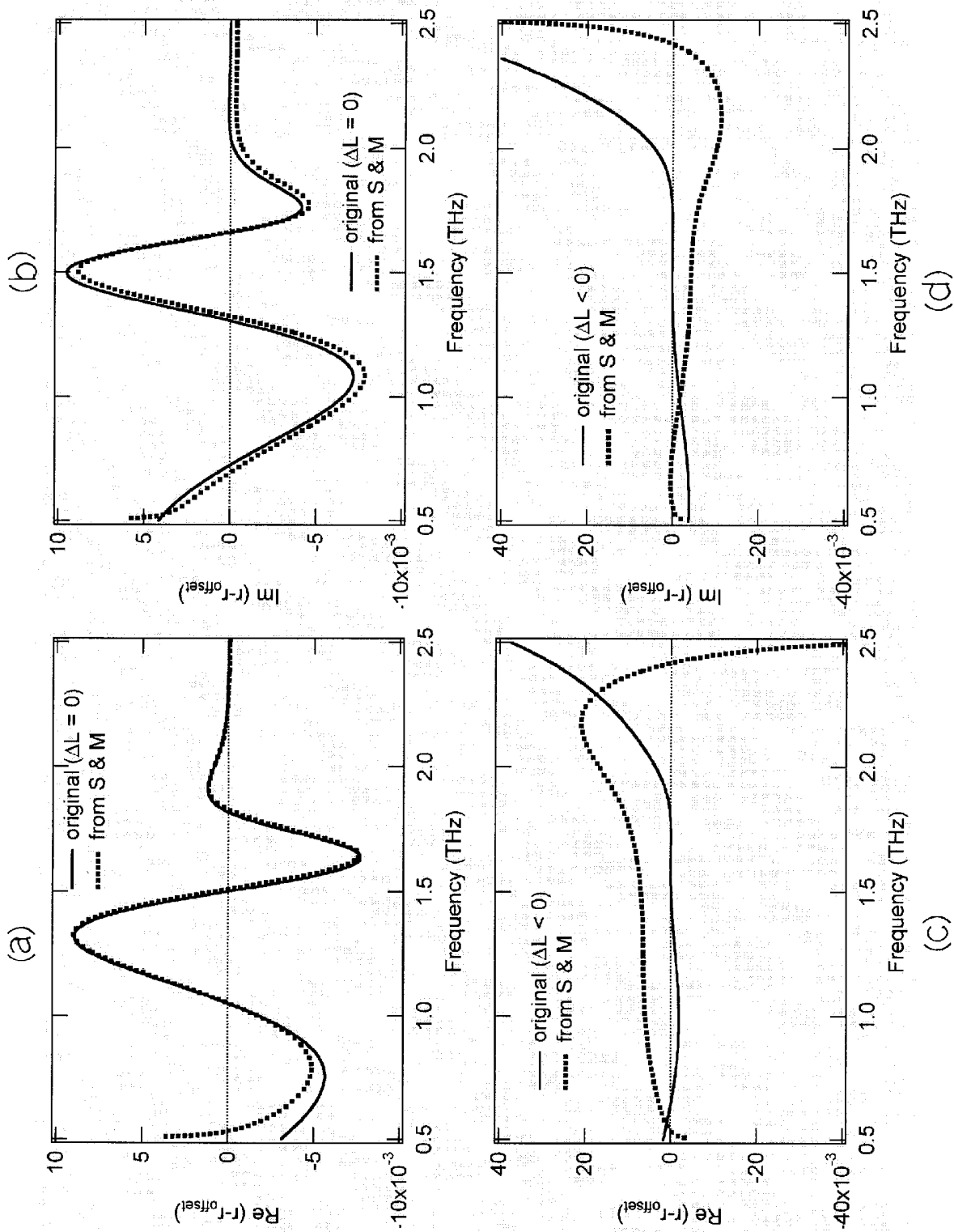


(a)



(b)

[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/016799

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/35 (2006.01), **G01B11/30** (2006.01)

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)

G01N21/00-21/35 (2006.01), **G01B11/00-11/30** (2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, IEEE, JSTPlus (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	E.M. Vartiainen et al., "Numerical phase correction method for terahertz time-domain reflection spectroscopy", Journal of Applied Physics, Vol.96, Issue 8, 15 October, 2004 (15.10.04), pages 4171 to 4175	1-9
Y	JP 2004-500582 A (RENSSELAER POLYTECHNIC INSTITUTE), 08 January, 2004 (08.01.04), Par. Nos. [0035] to [0037]; Figs. 6, 8 & WO 01/77646 A1 & US 6844552 B2 & CA 2404434 A1	1-3, 6-9
Y	JP 2003-121355 A (Tochigi Nikon Corp.), 23 April, 2003 (23.04.03), Par. Nos. [0004], [0010]; Fig. 11 (Family: none)	1-3, 6-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family 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 application or patent 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)

"O" 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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 October, 2005 (11.10.05)

Date of mailing of the international search report

25 October, 2005 (25.10.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/016799

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	L. Duvillaret et al., "A Reliable Method for Extraction of Material Parameters in Terahertz Time-Domain Spectroscopy", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, Vol.2, No.3, September 1996, pages 739 to 746	1

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ **G01N21/35** (2006.01), **G01B11/30** (2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ **G01N21/00 - 21/35** (2006.01), **G01B11/00 - 11/30** (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI, IEEE, JSTPlus(JOIS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P,X	E. M. Vartiainen, <i>et. al.</i> , "Numerical phase correction method for terahertz time-domain reflection spectroscopy" Journal of Applied Physics Volume 96, Issue 8, 2004.10.15, pp. 4171-4175	1-9
Y	JP 2004-500582 A (RENSSELAER POLYTECHNIC INSTITUTE) 2004.01.08 【0035】 - 【0037】 , 図 6, 8 & WO 01/77646 A1 & US 6844552 B2 & CA 2404434 A1	1-3, 6-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11. 10. 2005

国際調査報告の発送日

25. 10. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高場 正光

2W

2910

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2003-121355 A (株式会社栃木ニコン) 2003.04.23 【0004】 , 【0010】 , 図 11 (ファミリーなし)	1-3, 6-9
A	L. Duvillaret, <i>et al.</i> , "A Reliable Method for Extraction of Material Parameters in Terahertz Time-Domain Spectroscopy", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS Volume 2, Number 3, September 1996, pp.739-746	1