

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3527947号

(P 3 5 2 7 9 4 7)

(45) 発行日 平成16年 5月17日 (2004.5.17)

(24) 登録日 平成16年 3月 5日 (2004.3.5)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	
G01N 13/22		G01N 13/22	B
G01R 33/09		G01R 33/06	R
G12B 21/10		G12B 1/00	601 E

請求項の数26 (全9頁)

(21) 出願番号 特願2001 - 58528 (P 2001 - 58528)

(22) 出願日 平成13年 3月 2日 (2001.3.2)

(65) 公開番号 特開2002 - 257507 (P 2002 - 257507 A)

(43) 公開日 平成14年 9月11日 (2002.9.11)

審査請求日 平成13年 3月 2日 (2001.3.2)

特許法第30条第1項適用申請有り 2000年 9月 3日 (社) 応用物理学会発行の「2000年 (平成12年) 秋季 第61回応用物理学会学術講演会 講演予稿集 第2分冊」に発表

前置審査

(73) 特許権者 391016923

北海道大学長

北海道札幌市北区北8条西5丁目8番地

(72) 発明者 武笠 幸一

北海道札幌市中央区南13条西5丁目1 - 1 - 901

(72) 発明者 末岡 和久

北海道札幌市東区北35条西5丁目3 - 10
ロピア東麻生108号

(72) 発明者 木村 道哉

北海道江別市大麻沢町19 - 5

(74) 代理人 100072051

弁理士 杉村 興作

審査官 福田 裕司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プローブ及びその製造方法並びにプローブを有する顕微鏡及びテスト

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、一端が基板に固定された可撓性のカンチレバーと、そのカンチレバーの他端に配置された磁気抵抗素子とを具え、前記カンチレバーの長手方向に垂直な方向における前記磁気抵抗素子の長さを、磁性体探針を接合することなく波長が10 μm以下の漏洩磁場を検出することができるように10 nmと1 μmの間としたことを特徴とするプローブ。

【請求項2】 前記磁気抵抗素子を、磁性体膜からなるAMR素子、磁性体と非磁性体の多層膜からなるGMR素子、又は磁性体 - 絶縁体 - 磁性体のトンネル接合からなるTMR素子としたことを特徴とする請求項1記載のプローブ。

2

【請求項3】 前記磁気抵抗素子に電氣的に接続した抵抗ブリッジ回路を更に具えることを特徴とする請求項1又は2記載のプローブ。

【請求項4】 前記磁気抵抗素子に接続した位置制御用の突起部材を更に具えることを特徴とする請求項1から3のうちのいずれか1項に記載のプローブ。

【請求項5】 前記突起部材をカーボンナノチューブ又は磁性体ウイスカとしたことを特徴とする請求項4記載のプローブ。

10 【請求項6】 前記磁気抵抗素子の個数を2個以上としたことを特徴とする請求項1から5のうちのいずれか1項に記載のプローブ。

【請求項7】 可撓性材料によって構成した層を、基板の一方の面に設けるステップと、前記可撓性材料によって構成した層の上に磁性抵抗素子

をリソグラフィによって形成するステップと、前記基板の一部を除去して、一端が前記基板に固定されるとともに他端に前記磁性抵抗素子が配置されたカンチレバーを形成するステップとを具え、前記カンチレバーの長手方向に垂直な方向における前記磁性抵抗素子の長さを、磁性体探針を接合することなく波長が 10 μm 以下の漏洩磁場を検出することができるように 10 nm と 1 μm の間としたことを特徴とするプローブの製造方法。

【請求項 8】 前記磁性抵抗素子を、磁性体膜からなる AMR 素子、磁性体と非磁性体の多層膜からなる GMR 素子、又は磁性体 - 絶縁体 - 磁性体のトンネル接合からなる TMR 素子としたことを特徴とする請求項 7 記載のプローブ。

【請求項 9】 前記磁性抵抗素子に電氣的に接続した抵抗ブリッジ回路を前記カンチレバー上に形成するステップを更に具えることを特徴とする請求項 7 又は 8 記載のプローブの製造方法。

【請求項 10】 前記磁性抵抗素子に位置制御用の突起部材を接続するステップを更に具えることを特徴とする請求項 7 から 9 のうちのいずれか 1 項に記載のプローブの製造方法。

【請求項 11】 前記突起部材をカーボンナノチューブ又は磁性体ウイスカとすることを特徴とする請求項 10 記載のプローブの製造方法。

【請求項 12】 前記磁性抵抗素子の個数を 2 個以上とすることを特徴とする請求項 7 から 11 のうちのいずれか 1 項に記載のプローブの製造方法。

【請求項 13】 試料表面からの漏洩磁場を定量的に測定するプローブを具え、そのプローブが、基板と、一端が基板に固定された可撓性のカンチレバーと、そのカンチレバーの他端に配置された磁性抵抗素子とを具え、前記カンチレバーの長手方向に垂直な方向における前記磁性抵抗素子の長さを、磁性体探針を接合することなく波長が 10 μm 以下の漏洩磁場を検出することができるように 10 nm と 1 μm の間としたことを特徴とする顕微鏡。

【請求項 14】 前記磁性抵抗素子を、磁性体膜からなる AMR 素子、磁性体と非磁性体の多層膜からなる GMR 素子、又は磁性体 - 絶縁体 - 磁性体のトンネル接合からなる TMR 素子としたことを特徴とする請求項 13 記載の顕微鏡。

【請求項 15】 前記磁性抵抗素子に電氣的に接続した抵抗ブリッジ回路を更に具えることを特徴とする請求項 13 又は 14 記載の顕微鏡。

【請求項 16】 前記磁性抵抗素子に接続された位置制御用の突起部材を更に具えることを特徴とする請求項 13 から 15 のうちのいずれか 1 項に記載の顕微鏡。

【請求項 17】 前記突起部材をカーボンナノチューブ又は磁性体ウイスカとしたことを特徴とする請求項 16 記載の顕微鏡。

【請求項 18】 前記磁性抵抗素子の個数を 2 個以上としたことを特徴とする請求項 13 から 17 のうちのいずれか 1 項に記載の顕微鏡。

【請求項 19】 前記磁性抵抗素子を、その厚さ方向が前記漏洩磁場の方向とほぼ一致するように配置したことを特徴とする請求項 13 から 19 のうちのいずれか 1 項に記載の顕微鏡。

【請求項 20】 所定幅の配線から漏洩磁場分布を測定するプローブを具え、そのプローブが、基板と、一端が基板に固定された可撓性のカンチレバーと、そのカンチレバーの他端に配置された磁性抵抗素子とを具え、前記カンチレバーの長手方向に垂直な方向における前記磁性抵抗素子の長さを、磁性体探針を接合することなく波長が 10 μm 以下の漏洩磁場を検出することができるように 10 nm と 1 μm の間としたことを特徴とするテスト。

【請求項 21】 前記磁性抵抗素子を、磁性体膜からなる AMR 素子、磁性体と非磁性体の多層膜からなる GMR 素子、又は磁性体 - 絶縁体 - 磁性体のトンネル接合からなる TMR 素子としたことを特徴とする請求項 20 記載のテスト。

【請求項 22】 前記磁性抵抗素子に電氣的に接続した抵抗ブリッジ回路を更に具えることを特徴とする請求項 20 又は 21 記載のテスト。

【請求項 23】 前記磁性抵抗素子に接続された位置制御用の突起部材を更に具えることを特徴とする請求項 20 から 22 のうちのいずれか 1 項に記載のテスト。

【請求項 24】 前記突起部材をカーボンナノチューブ又は磁性体ウイスカとしたことを特徴とする請求項 23 記載のテスト。

【請求項 25】 前記磁性抵抗素子の個数を 2 個以上としたことを特徴とする請求項 20 から 24 のうちのいずれか 1 項に記載のテスト。

【請求項 26】 前記磁性抵抗素子を、その厚さ方向が前記漏洩磁場の方向とほぼ一致するように配置したことを特徴とする請求項 20 から 25 のうちのいずれか 1 項に記載のテスト。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁性抵抗素子付きプローブ及びその製造方法並びにプローブを有する顕微鏡及び IC 回路に関するものである。

【0002】

【従来技術】磁性体表面の磁気構造を高い空間分解能で測定するプローブ顕微鏡技術として、例えば、磁気力

顕微鏡 (M F M)、近接場磁気光学効果顕微鏡 (S N M O N) 及び磁気抵抗効果顕微鏡 (S M R M) がある。

【 0 0 0 3 】 M F M では、試料からの漏洩磁場の勾配を測定するので、測定値から漏洩磁場分布及び磁気構造を定量的に求めるのが困難である。S N M O N では、近接場の磁気光学効果を利用しているが、近接場領域における磁気光学効果についての物理的な原因が明確になっていないことや、近接場における偏光制御が困難であることから、測定データの定量的解釈が困難となっている。

【 0 0 0 4 】 S M R M では、磁気抵抗素子を用いること
10 によって、試料からの漏洩磁場を直接測定しており、M F M 及び S N M O N に比べて定量的な測定が容易になる。S M R M については、IEEE. Trans. Mag. 33(1) 89 1 (1997) において基礎的な実験が報告されており、このような S M R M は、例えば特開平 6 - 5 9 0 0 4 号及び特開平 1 0 - 1 9 9 0 7 号に開示されている。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記特
開平 6 - 5 9 0 0 4 号公報及び特開平 1 0 - 1 9 9 0 7
号公報に開示されたような従来のプローブでは、磁気抵
20 抗素子の幅が数 μm と比較的大きく、そのままでは高分
解能の磁気情報を取得するのが困難である。このような
プローブの分解能を向上させるためには、磁気抵抗素子の
表面に磁性体探針を接合するなどの特別な工夫が必要
となってくる。その結果、プローブの製造方法が複雑に
なり、高分解能のプローブを歩留まり良く多量に製造す
るのが困難となる。

【 0 0 0 6 】本発明の目的は、歩留まり良く多量に製造
することができる、高分解能のプローブ及びその製造方
法並びにプローブを有する顕微鏡及び I C 回路を提供す
30 ることである。

【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】本発明によるプローブ
は、基板と、一端が基板に固定された可撓性のカンチレ
バーと、そのカンチレバーの他端に配置された磁気抵抗
素子とを具え、前記カンチレバーの長手方向に垂直な方
向における前記磁気抵抗素子の長さを、磁性体探針を接
40 合することなく波長が $10\ \mu\text{m}$ 以下の漏洩磁場を検出す
ることができるように $10\ \text{nm}$ と $1\ \mu\text{m}$ の間としたこと
を特徴とするものである。

【 0 0 0 8 】本発明によるプローブは、カンチレバーの
長手方向に垂直な方向 (感磁方向) における磁気抵抗素
子の長さを小さくするに従って磁気抵抗素子の分解能が
良好になるという特性を利用している。本発明によれば、
磁気抵抗素子の感磁方向における長さを $1\ \mu\text{m}$ 以下
にすることによって、従来のように磁性体探針を接合す
ることなく、波長が $10\ \mu\text{m}$ 以下の漏洩磁場を検出す
ることができるようになる。その結果、高分解能のプロー
ブを、歩留まり良く多量に製造することができるように
なる。なお、感磁方向における長さが $1\ \mu\text{m}$ 以下の磁気

抵抗素子を、電子線リソグラフのようリソグラフ技術
を用いて形成することができる。

【 0 0 0 9 】磁気抵抗素子の感磁方向における長さを小
さくするに従って、更に小さい波長の漏洩磁場を検出す
ることができるようになるが、磁気抵抗素子の感磁方向の長さが
1 0 nm より小さくなると、磁気抵抗素子を構成する磁性
体膜の磁化が熱振動により揺らぎ、磁気抵抗素子が所定
の特性を有さなくなるおそれがある。その結果、磁気抵
抗素子の感磁方向の長さを $10\ \text{nm}$ 以上にする必要があ
る。

【 0 0 1 0 】前記磁気抵抗素子を、例えば、磁性体膜か
らなる A M R 素子、磁性体と非磁性体の多層膜からなる
G M R 素子、又は磁性体 - 絶縁体 - 磁性体のトンネル接
合からなる T M R 素子とする。

【 0 0 1 1 】好適には、前記磁気抵抗素子に電氣的に接
続した抵抗ブリッジ回路を更に具える。これによって、
カンチレバー外部の配線に起因する雑音を低減させるこ
とができ、その結果、歩留まり良く多量に製造するこ
40 ができるプローブの測定の精度を、更に向上させること
ができる。

【 0 0 1 2 】好適には、前記磁気抵抗素子に接続した位
置制御用の突起部材を更に具える。これによって、凹凸
の比較的大きな試料を測定する場合でも、位置制御の試
料面内追従性が悪化するおそれが大幅に軽減し、その結
果、歩留まり良く多量に製造することができるプローブ
の測定の精度を、更に向上させることができる。突起部
材を磁気抵抗素子に接続するに当たり、従来の製造方法
のような複雑な工程を必要としない。なお、前記突起部
材を、例えばカーボンナノチューブ又は磁性体ウイスカ
50 とする。

【 0 0 1 3 】好適には、前記磁気抵抗素子の個数を 2 個
以上とする。これによって、磁気抵抗素子が連続する方
向、例えば高さ方向の依存性を同時に測定することがで
き、かつ、高分解能の磁場高さ分布測定が可能となる。

【 0 0 1 4 】本発明によるプローブの製造方法は、可撓
性材料によって構成した層を、基板の一方の面に設ける
ステップと、前記可撓性材料によって構成した層の上に
磁性抵抗素子をリソグラフィによって形成するステップ
と、前記基板の一部を除去して、一端が前記基板に固定
されるとともに他端に前記磁性抵抗素子が配置されたカ
ンチレバーを形成するステップとを具え、前記カンチレ
バーの長手方向に垂直な方向における前記磁気抵抗素子
の長さを、磁性体探針を接合することなく波長が $10\ \mu\text{m}$
60 以下の漏洩磁場を検出することができるように $10\ \text{nm}$
と $1\ \mu\text{m}$ の間とすることを特徴とするものである。

【 0 0 1 5 】本発明によれば、磁気抵抗素子をリソグラ
フィによって形成しているので、磁気抵抗素子の感磁方
向の幅を $1\ \mu\text{m}$ 以下にすることができる。その結果、高
性能のプローブを、歩留まり良く多量に製造することが
70 できる。なお、リソグラフィを、例えば電子線リソグラ

フィとする。

【0016】また、前記カンチレバーの長手方向に垂直な方向における前記磁気抵抗素子の長さを、10 nmと1 μmの間とする。

【0017】前記磁気抵抗素子を、例えば、磁性体膜からなるAMR素子、磁性体と非磁性体の多層膜からなるGMR素子、又は磁性体 - 絶縁体 - 磁性体のトンネル接合からなるTMR素子とする。

【0018】好適には、前記磁気抵抗素子に電氣的に接続した抵抗ブリッジ回路を前記カンチレバー上に形成するステップを更に具える。これによって、更に測定の精度が向上したプローブを、歩留まり良く多量に製造することができる。

【0019】好適には、前記磁気抵抗素子に位置制御用の突起部材を接続するステップを更に具える。更に測定の精度が向上したプローブを、歩留まり良く多量に製造することができる。なお、前記突起部材を、例えばカーボンナノチューブ又は磁性体ウイスカとする。

【0020】好適には、前記磁気抵抗素子の個数を2個以上とする。これによって、磁気抵抗素子が連続する方向、例えば高さ方向の依存性を同時に測定することができ、かつ、高分解能の磁場高さ分布測定が可能となるプローブを製造することができる。

【0021】本発明による顕微鏡は、試料表面からの漏洩磁場を定量的に測定するプローブを具え、そのプローブが、基板と、一端が基板に固定された可撓性のカンチレバーと、そのカンチレバーの他端に配置された磁気抵抗素子とを具え、前記カンチレバーの長手方向に垂直な方向における前記磁気抵抗素子の長さを、磁性体探針を接合することなく波長が10 μm以下の漏洩磁場を検出することができるように10 nmと1 μmの間としたことを特徴とするものである。

【0022】本発明による顕微鏡は、歩留まり良く多量に製造することができる高性能のプローブを具えるので、性能が更に向上する。

【0023】前記磁気抵抗素子を、例えば、磁性体膜からなるAMR素子、磁性体と非磁性体の多層膜からなるGMR素子、又は磁性体 - 絶縁体 - 磁性体のトンネル接合からなるTMR素子とする。

【0024】好適には、前記磁気抵抗素子に電氣的に接続した抵抗ブリッジ回路を更に具える。これによって、歩留まり良く多量に製造することができるプローブの測定の精度を、更に向上させることができ、その結果、顕微鏡の性能が更に向上する。

【0025】好適には、前記磁気抵抗素子に接続された位置制御用の突起部材を更に具える。これによって、歩留まり良く多量に製造することができるプローブの測定の精度を、更に向上させることができ、その結果、顕微鏡の性能が更に向上する。なお、前記突起部材を、例えばカーボンナノチューブ又は磁性体ウイスカとする。

【0026】好適には、前記磁気抵抗素子の個数を2個以上とする。これによって、磁気抵抗素子が連続する方向、例えば高さ方向の依存性を同時に測定することができ、かつ、高分解能の磁場高さ分布測定が可能となる。その結果、顕微鏡の性能が更に向上する。

【0027】更に好適には、前記磁気抵抗素子を、その厚さ方向が前記漏洩磁場の方向とほぼ一致するように配置する。これによって、分解能が更に高い顕微鏡を実現することができる。

10 【0028】本発明によるテストは、所定幅の配線から漏洩磁場分布を測定するプローブを具え、そのプローブが、基板と、一端が基板に固定された可撓性のカンチレバーと、そのカンチレバーの他端に配置された磁気抵抗素子とを具え、前記カンチレバーの長手方向に垂直な方向における前記磁気抵抗素子の長さを、磁性体探針を接合することなく波長が10 μm以下の漏洩磁場を検出することができるように10 nmと1 μmの間としたことを特徴とするものである。

20 【0029】本発明によるテストは、歩留まり良く多量に製造することができる高性能のプローブを具えるので、性能が更に向上する。

【0030】前記磁気抵抗素子を、例えば、磁性体膜からなるAMR素子、磁性体と非磁性体の多層膜からなるGMR素子、又は磁性体 - 絶縁体 - 磁性体のトンネル接合からなるTMR素子とする。

30 【0031】好適には、前記磁気抵抗素子に電氣的に接続した抵抗ブリッジ回路を更に具える。これによって、歩留まり良く多量に製造することができるプローブの測定の精度を、更に向上させることができ、その結果、テストの性能が更に向上する。

【0032】好適には、前記磁気抵抗素子に接続された位置制御用の突起部材を更に具える。これによって、歩留まり良く多量に製造することができるプローブの測定の精度を、更に向上させることができ、その結果、テストの性能が更に向上する。なお、前記突起部材を、例えばカーボンナノチューブ又は磁性体ウイスカとする。

【0033】好適には、前記磁気抵抗素子の個数を2個以上とする。これによって、磁気抵抗素子が連続する方向、例えば高さ方向の依存性を同時に測定することができ、かつ、高分解能の磁場高さ分布測定が可能となる。その結果、テストの性能が更に向上する。

40 【0034】更に好適には、前記磁気抵抗素子を、その厚さ方向が前記漏洩磁場の方向とほぼ一致するように配置する。これによって、分解能が更に高い顕微鏡を実現することができる。

【0035】

50 【発明の実施の形態】本発明によるプローブ及びその製造方法並びにプローブを有する顕微鏡及びテストの実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。図1は、本発明によるプローブの製造工程を説明するための図であ

る。まず、基板としてシリコンウエハ 1 を用意し、その両面に窒化膜 2, 3 を低圧 CVD によって形成する。その後、フォトリソグラフ及び反応性イオンエッチングによって窒化膜 2, 3 をエッチングして、カンチレバーが形成されるように窒化膜 2 の一部を除去するとともに、後の工程でシリコンウエハ 1 の一部がエッチングされるように窒化膜 3 の一部を除去し、次の工程で使用する電子線リソグラフ用の位置合わせマーク 4, 5 を形成する。このようにして得られたパーツの側面及び上面をそれぞれ図 1 (a) 及び図 1 (b) に示す。

【 0 0 3 6 】次いで、カンチレバーとなるべき部分の先端部に、電子線リソグラフ及び蒸着によって MR 素子 6 を形成する。この場合、MR 素子 6 の大きさを、0 . 1 ミクロン × 0 . 1 ミクロン以下とすることができる。このようにして得られたパーツの側面及び上面をそれぞれ図 1 (c) 及び図 1 (d) に示す。

【 0 0 3 7 】次いで、EB リソグラフ又はフォトリソグラフ及び蒸着によってリード電極 7, 8 を形成し、MR 素子 6 及びリード電極 7, 8 の表面に、保護用の窒化シリコン膜又は酸化シリコン膜を形成する。その後、ボンディングパッド 9, 1 0 を形成する。このようにして得られたパーツの側面及び上面をそれぞれ図 1 (e) 及び図 1 (f) に示す。

【 0 0 3 8 】次いで、基板 1 の一部を異方性エッチングによって裏面から除去する。この場合、基板 1 の一部が残るように、MR 素子 6 が配置された面へのエッチング液の回り込みを防止する。その後、反応性イオンエッチング又はスパッタリングによって、基板 1 の一部を除去する。最後に、カンチレバー 1 1 の先端部を集束イオンビームによってトリミングする。このようにして得られたパーツの側面及び上面をそれぞれ図 1 (g) 及び図 1 (h) に示す。

【 0 0 3 9 】本実施の形態では、カンチレバー 1 1 の長手方向に垂直な方向（感磁方向）における磁気抵抗素子 6 の長さを、1 0 nm と 1 μm との間とする。また、磁気抵抗素子 6 を、例えば、磁性体膜からなる AMR 素子、磁性体と非磁性体の多層膜からなる GMR 素子、又は磁性体 - 絶縁体 - 磁性体のトンネル接合からなる TMR 素子とする。

【 0 0 4 0 】本実施の形態によって得られるプローブの斜視図及び側面図を、図 2 及び図 3 にそれぞれ示す。本実施の形態のように磁気抵抗素子 6 の感磁方向の長さを 1 0 nm と 1 μm との間にするによって、カンチレバー 1 1 の先端部分が位置制御用の探針として機能する。

【 0 0 4 1 】図 4 は、記録波長と磁気抵抗素子の出力との関係を表す図である。この場合、磁気記録媒体の磁場を計測したときの MR 素子出力を計算したものである。図 4 において、曲線 a - e はそれぞれ、感磁方向における磁気抵抗素子の長さがそれぞれ 5 μm , 1 μm , 0 .

5 μm , 0 . 1 μm 及び 0 . 0 5 μm の場合の特性を示す。なお、何れの場合も、磁気抵抗素子の電流密度を $1 0^{11} \text{ A/m}^2$ となる。

【 0 0 4 2 】図 4 から明らかなように、感磁方向における磁気抵抗素子の長さが短くなるに従って、検出する記録波長が短くなり、その長さが 1 μm 以下になると、1 0 μm 以下の記録波長の漏洩磁場を検出できるようになり、その結果、従来のように磁性体探針を接合する必要がないので、高分解能のプローブを歩留まり良く多量に製造することができる。

【 0 0 4 3 】リソグラフ技術による感磁方向における磁気抵抗素子の長さの下限は数 nm である。しかしながら、感磁方向における磁気抵抗素子の長さが小さくなると、磁性体膜で構成された磁気抵抗素子の磁化に対する熱振動の効果が顕著となる。感磁方向における磁気抵抗素子の長さの下限は、磁化を固定する磁気異方性エネルギーと熱振動のエネルギーが等しくなる条件

$$vK = kT / 2$$

によって与えられる。ここで、v を、磁気抵抗素子の体積とし、K を、磁気抵抗素子を構成する磁性体の単位体積当たりの磁気異方性エネルギーとし、k をボルツマン定数とし、T を絶対温度とする。

【 0 0 4 4 】磁気抵抗素子を構成する磁性体の単位体積当たりの磁気異方性エネルギーは $5 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ 前後であり、室温 (T = 3 0 0 K) における感磁方向における磁気抵抗素子の長さ $v^{-1/3}$ は 1 0 nm となる。

【 0 0 4 5 】図 5 は、本発明による他のプローブの上面図である。本実施の形態では、リード線 1 1 , 1 2 の配線パターン及び構成材料を適切に選択し、カンチレバー 1 3 の上面に抵抗ブリッジ回路 1 4 を形成することによって、カンチレバー 1 3 の外部の配線に起因する雑音を低減させる。これによって、プローブの測定の精度が更に向上する。なお、抵抗ブリッジ素子 1 4 のトリミングを行うに当たり、例えばレーザや集束イオンビームを使用する。

【 0 0 4 6 】図 6 は、本発明による他のプローブの側面図である。本実施の形態では、磁気抵抗素子 2 1 に突起部材 2 2 を接続している。これによって、プローブの磁場感度が更に向上し、凹凸の比較的大きな試料を測定する場合でも、位置制御の試料面内追従性を良好に維持することができる。突起部材 2 2 を、例えばカーボンナノチューブ又は磁性体ウイスカによって構成する。

【 0 0 4 7 】図 7 は、本発明による他のプローブの斜視図である。図示したように、本発明によるプローブによって、マルチプローブ又はプローブアレイを構成することもできる。

【 0 0 4 8 】図 8 は、本発明による他のプローブの側面図である。本実施の形態では、複数の磁気抵抗素子 3 1 , 3 2 , 3 3 を、1 個のカンチレバー 3 4 に形成している。これによって、磁気抵抗素子 3 1 - 3 3 が連続す

る方向 A についての測定が可能となる。

【0049】図 9 は、本発明による他のプローブの側面図である。本実施の形態では、磁気抵抗素子 4 1 の厚さ方向が磁場方向 B とほぼ一致するように配置する。これによって、高分解能のプローブを実現することができる。

【0050】図 10 は、本発明による他のプローブの側面図である。本実施の形態では、複数の磁気抵抗素子 5 1, 5 2, 5 3 を、1 個のカンチレバー 5 4 に形成し、磁気抵抗素子 5 1 に突起部材 5 5 を接続する。これによって、プローブの高さ方向 C の磁気分布を高精度で測定することができる。

【0051】図 11 は、本発明による他のプローブの上面図である。本実施の形態では、複数の磁気抵抗素子 6 1, 6 2, 6 3, 6 4, 6 5, 6 6 を、1 個のカンチレバー 6 7 に形成する。これによって、プローブの高さ方向 D 及び幅方向 E の分布測定が可能となる。

【0052】図 12 は、本発明による顕微鏡のブロック図である。この顕微鏡は、本発明によるプローブ 7 1 と、試料 7 2 が載せ置かれた P Z T チューブ 7 3 と、それに接続された電流発生器 7 4 と、プローブ 7 1 にレーザを照射するレーザダイオード 7 5 と、磁界を発生させる磁石 7 6 と、カンチレバー 7 1 によって反射されたレーザ光を受光するフォトダイオード 7 7 と、フォトダイオード 7 7 からの信号が供給される A F M コントローラ 7 8 と、プローブ 7 1 に接続した電流発生器 7 9 及びプリアンプ 8 0 と、プリアンプ 8 0 に接続した 2 次増幅器 8 1 と、それに接続した基準電圧 8 2 及びローパスフィルタ 8 3 とを具える。

【0053】A F M コントローラ 7 8 は、P Z T チューブ 7 3 の 3 次元座標系の動作の制御を行う。本実施の形態では、試料 7 2 の表面からの漏洩磁場を定量的に測定することができ、磁性体表面の磁気構造観察や、磁気記録ヘッドの漏洩磁場分布測定への適用が可能となる。

【0054】図 13 は、本発明によるテストのブロック図である。本実施の形態では、回路基板 9 1 の微小幅の配線からの漏洩磁場分布測定をして、配線に流れる電流を測定する。また、漏洩磁場分布を測定することによって、多層配線による磁場分布解析を行い、多層部分の電流の測定が可能となる。

【0055】本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、幾多の変更及び変形が可能である。例えば、磁気抵抗素子を形成するに当たり、上記実施の形態では電子線リソグラフを用いたが、他の任意のリソグラフ技術を用いることができる。また、本発明によるプロ

ーブを顕微鏡及びテストに適用した例を示したが、本発明によるプローブを他の用途に適用することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明によるプローブの製造工程を説明するための図である。

【図 2】 本発明によるプローブの斜視図である。

【図 3】 本発明によるプローブの側面図である。

【図 4】 記録波長と磁気抵抗素子の出力との関係を表す図である。

10 【図 5】 本発明による他のプローブの上面図である。

【図 6】 本発明による他のプローブの側面図である。

【図 7】 本発明による他のプローブの斜視図である。

【図 8】 本発明による他のプローブの側面図である。

【図 9】 本発明による他のプローブの側面図である。

【図 10】 本発明による他のプローブの側面図である。

【図 11】 本発明による他のプローブの上面図である。

【図 12】 本発明による顕微鏡のブロック図である。

20 【図 13】 本発明によるテストのブロック図である。

【符号の説明】

1 シリコンウエハ

2, 3 窒化膜

4, 5 位置合わせマーク

6, 21, 31, 32, 33, 41, 51, 52, 5

3, 61, 62, 63, 64, 65, 66 磁気抵抗素子

7, 8, 11, 12 リード電極

9, 10 ボンディングパッド

30 11, 13, 34, 54, 67 カンチレバー

14 抵抗ブリッジ回路

22, 55 突起部材

71 プローブ

72 試料

73 P Z T チューブ

74, 79 電流発生器

75 レーザダイオード

76 磁石

77 フォトダイオード

40 78 A F M コントローラ

80 プリアンプ

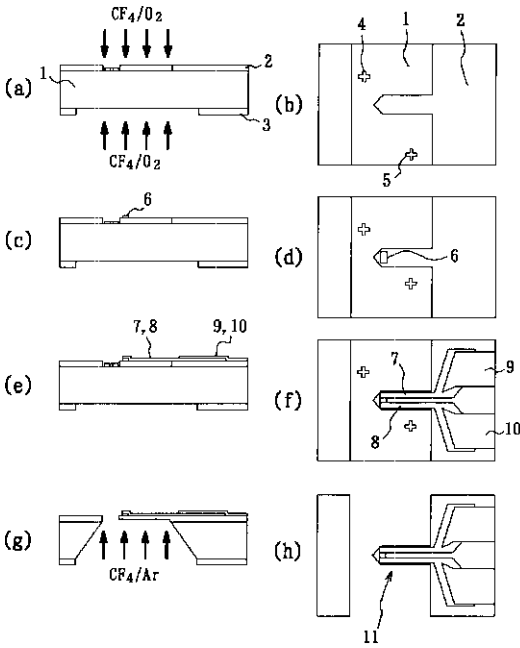
81 2 次増幅器

82 基準電圧

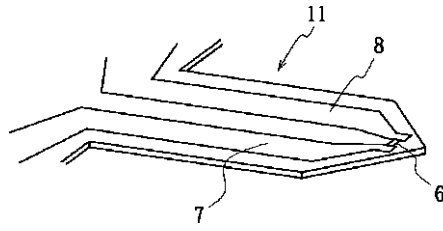
83 ローパスフィルタ

91 回路基板

【 図 1 】

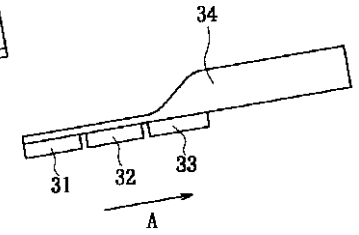
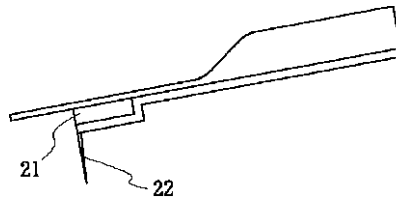


【 図 2 】

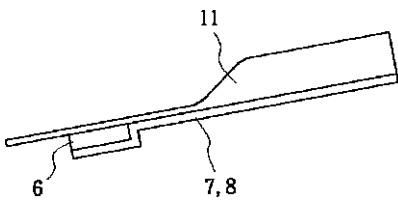


【 図 6 】

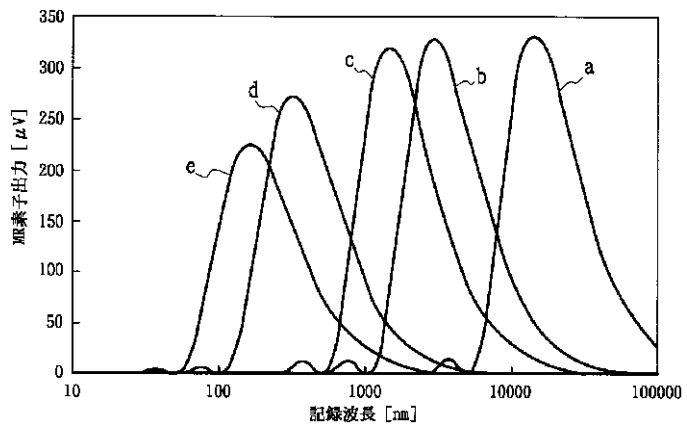
【 図 8 】



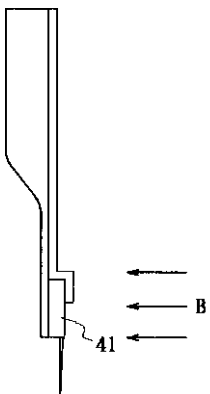
【 図 3 】



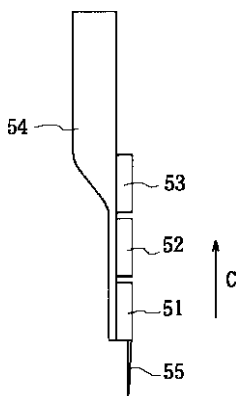
【 図 4 】



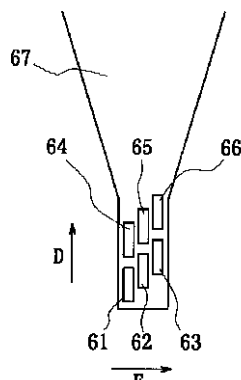
【 図 9 】



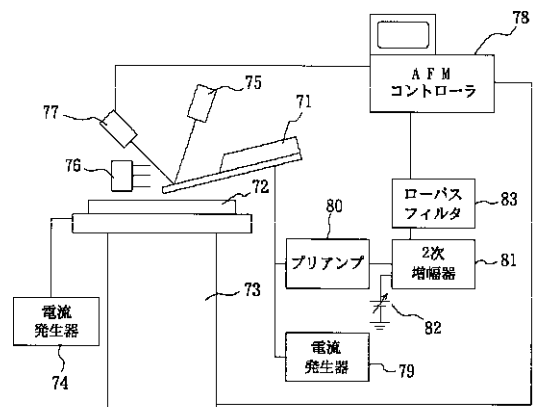
【 図 10 】



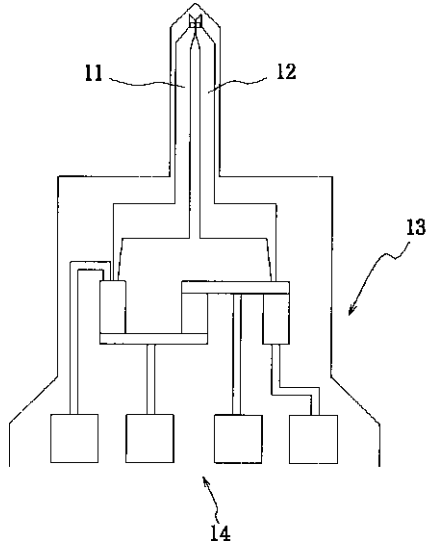
【 図 11 】



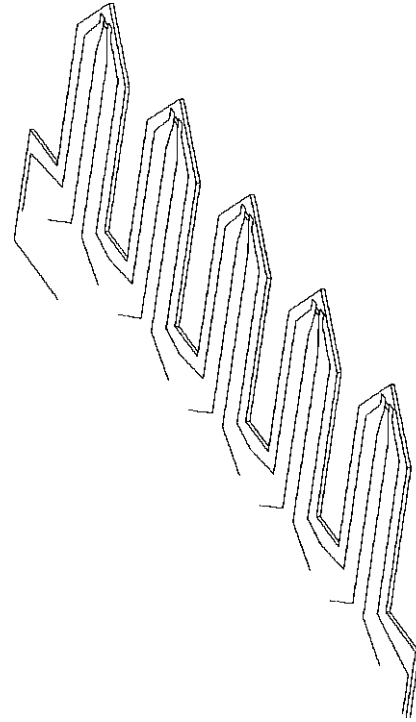
【 図 12 】



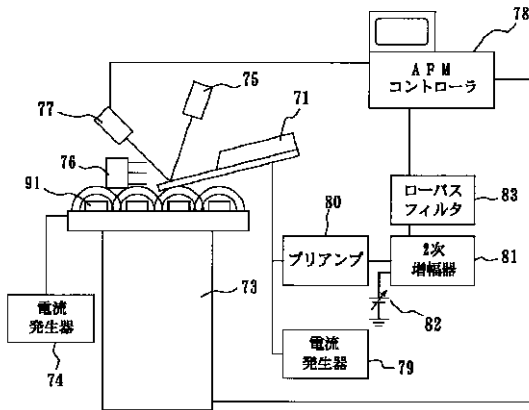
【図 5】



【図 7】



【図 1 3】



フロントページの続き

- (72)発明者 澤村 誠
北海道札幌市中央区北 1 条西15丁目 大
通りハイム612
- (72)発明者 細井 浩貴
北海道札幌市東区北28条東 3 丁目 1 - 3

(56)参考文献 特開 平 6 - 59004 (J P , A)
特開 平 4 - 282401 (J P , A)
特開 平 3 - 62546 (J P , A)
特開 平10 - 19907 (J P , A)
特開 平 4 - 249703 (J P , A)
特開 平11 - 23724 (J P , A)
特開 平10 - 172116 (J P , A)
特開2000 - 346786 (J P , A)
特開2000 - 174358 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, D B 名)
G01N 13/22
G01R 33/09
G12B 21/10