

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018年5月24日 (24.05.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/090636 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 33/09 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/090548
- (22) 国际申请日: 2017年6月28日 (28.06.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201611022569.3 2016年11月18日 (18.11.2016) CN
- (71) 申请人: 清华大学(TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 清华四川能源互联网研究院(SICHUAN ENERGY INTERNET RESEARCH INSTITUTE, TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国四川省成都市天府新区天府大道南段2039号天府创客街区, Sichuan 610213 (CN)。
- (72) 发明人: 何金良(HE, Jinliang); 中国北京市北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 欧阳勇(OUYANG, Yong); 中国四川省成都市天府

大道南段2039号天府创客街区, Sichuan 610213 (CN)。 胡军(HU, Jun); 中国北京市北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 王善祥(WANG, Shanxiang); 中国北京市北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 赵根(ZHAO, Gen); 中国北京市北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 王中旭(WANG, Zhongxu); 中国北京市北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 曾嵘(ZENG, Rong); 中国北京市北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 庄池杰(ZHUANG, Chijie); 中国北京市北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 张波(ZHANG, Bo); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 余占清(YU, Zhanqing); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 成都九鼎天元知识产权代理有限公司(CHENGDU JIUDINGTIANYUAN INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国四川省成都洗面桥街33号艺墅花乡405, Sichuan 610041 (CN)。

(54) Title: WIDE MAGNETIC FIELD RANGE MEASURING METHOD AND DEVICE

(54) 发明名称: 一种宽磁场范围测量方法及装置

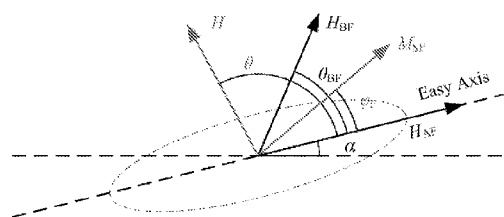


图3

(57) Abstract: The invention discloses a wide magnetic field range measuring method and a device, which relate to the technology field of magnetic field measurement, and more particularly, to a measurement method for the magnetic field intensity of a medium-and-large range and an extremely large range. The method comprises: the measurement step for a medium-and-large magnetic field and the measurement step for an extremely large magnetic field. In addition to that, the method further comprises steps of: Step 1: placing four orthogonally-configured magnetic resistance resistors into an external magnetic field and obtaining the resistance value of each magnetic resistance resistor; Step 2: substituting the resistance values of two mutually orthogonal magnetic resistance resistors into the measurement step for a medium-and-large magnetic field for calculation; if calculation process converges, then, determining that the external magnetic field as a medium-and-large magnetic field with the calculation result representing the magnetic field intensity and the direction of the medium-and-large magnetic field; and if the calculation process does not converge, then substituting the resistance values of the four magnetic resistance resistors in the measurement step for an extremely large magnetic field for calculation and determining that the external magnetic field is an extremely large magnetic field with the calculation result representing the magnetic field intensity and

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

direction of the extremely large magnetic field.

(57) 摘要: 一种宽磁场范围测量方法及装置, 涉及磁场测量技术领域, 尤其是一种针对中大范围及极大范围的磁场强度的测量方法。该方法包括: 中大磁场测量步骤及极大磁场测量步骤; 另外还包括: 步骤1: 将四个正交配置的磁阻电阻放置到外加磁场中, 并获取各个磁阻电阻的阻值; 步骤2: 将其中两个相互正交的磁阻电阻的阻值带入中大磁场测量步骤计算, 若计算过程收敛则判断外加磁场为中大磁场且计算结果为中大磁场的磁场强度及方向; 若计算过程不收敛则将四个磁阻电阻的阻值带入极大磁场测量步骤计算, 且判断外加磁场为极大磁场, 计算结果为极大磁场的磁场强度及方向。

一种宽磁场范围测量方法及装置

技术领域

本发明涉及磁场测量技术领域，尤其是一种针对小范围磁场、中大范围及极大范围的磁场强度的测量方法。

背景技术

磁阻电阻在待测磁场较小时（磁场强度小于 $0.1H_{AF}$ ， H_{AF} 为磁阻电阻的自由层的各向异性场，不同的磁阻电阻其 H_{AF} 是不同的，一般说来为几十 Oe 。 Oe 为磁场强度单位——奥斯特）具有良好的线性度，测量精度较好。

现有的小磁场测量方法认为在磁阻电阻的难轴方向上灵敏度最高（即磁场方向与易轴方向夹角为 90° ），根据磁阻电阻的阻值计算磁场大小及方向时以该方向作为最大灵敏度方向进行计算。

然而我们在研究中发现磁阻电阻的最大灵敏度方向与磁场的夹角并非 90° ，而是会偏移一定角度。因此，现有的计算模型将不能更加精准的测量计算小磁场。需要基于我们的研究发现提供一种新的小磁场测量方法。

另外，现有的磁阻电阻测量模型难以对中大范围（磁场强度约为 $4\sim 6 H_{AF}$ ）的磁场进行测量，这是因为：1）磁阻电阻的传感曲线在中大范围由线性趋向饱和，严重非线性，需要建立非线性模型进行计算；2）磁阻电阻的参考层将发生显著旋转，必须考虑参考层的影响；3）磁阻磁畴方向可能发生不可逆翻转，电阻值会跳变，形成两根分叉的不同传感曲线。

当外界磁场极大时，磁阻参考层磁畴发生显著旋转，磁阻电阻进入饱和区。

可见现有的测量方法完全不能适应大磁场范围（磁场范围约为 $1mOe\sim 2.5kOe$ ）的测量，需要提出一种新的，适用于大磁场测量方法。

发明内容

本发明提供的一种大磁场测量方法，包括：中大磁场测量步骤及极大磁场测量步骤；另外还包括：

步骤 1：将四个正交配置的磁阻电阻放置到外加磁场中，并获取各个磁阻电阻的阻值；第一磁阻电阻与第三磁阻电阻位于一条直线上，第二磁阻电阻与第四磁阻电阻位于另一条直线上，所述一条直线与所述另一条直线垂直；

步骤 2：若检测到四个磁阻电阻的阻值相对于磁场为 0 时的阻值变化量小于设定值时，则采用小磁场测量步骤对外加磁场进行测量；若检测到四个磁阻电阻的阻值都变小，则采用极大磁场测量步骤对外加磁场进行测量；

若四个磁阻电阻的阻值均不满足上述两个判断条件，则将其中两个相互正交的磁阻电阻的阻值带入中大磁场测量步骤计算，若计算过程收敛则判断外加磁场为中大磁场且计算结果为中大磁场的磁场强度及方向；若计算过程不收敛则将四个磁阻电阻的阻值带入极大磁场测量步骤计算，且判断外加磁场为极大磁场，计算结果为极大磁场的磁场强度及方向；

其中，中大磁场测量步骤进一步包括：

步骤 M1：获取外加磁场中两个相互正交的磁阻电阻的阻值，同时将无磁场时这两个磁阻电阻的初始参考层磁化方向作为给定的参考层磁化方向 φ_{R1} ， φ_{R2} ；

步骤 M2：根据两个磁阻电阻的阻值分别计算两个磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角；

步骤 M3：分别根据两个磁阻电阻的给定参考层磁化方向 φ_{R1} ， φ_{R2} 及两个磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角计算出两个磁阻电阻的自由层磁化方向；

步骤 M4：根据两个磁阻电阻的给定参考层磁化方向、两个磁阻电阻的自由层磁化方向求解外加磁场的磁场幅值及方向；

步骤 M5：将本次计算得到的外加磁场的磁场幅值及方向与前一次计算结

果相比，若两次结果的差值大于设定阈值，则根据本次计算得到的外加磁场的磁场幅值及方向更新两个磁阻电阻的参考层磁化方向并将其作为新的给定的参考层磁化方向 φ_{R1} ， φ_{R2} ，并再次执行步骤 M2~步骤 M5，直到两次结果的差值小于设定值；

极大磁场测量步骤进一步包括：

步骤 N1：根据四个磁阻电阻的阻值计算各磁阻电阻自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角；

步骤 N2：根据第一磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角以及第三磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角计算外加磁场的磁场强度 H_1 及方向 θ_1 ；根据第二磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角以及第四磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角计算外加磁场的磁场强度 H_2 及方向 θ_2 ；

步骤 N3：根据磁场强度 H_1 与磁场强度 H_2 确定外加磁场最终的磁场强度 H_0 ，根据方向 θ_2 与方向 θ_1 确定外加磁场最终的方向 θ 。

小磁场测量步骤进一步包括：

步骤 S1：采集位于待测磁场中两个相互正交的磁阻电阻的阻值 R_1 ， R_2 ；

步骤 S2：将其中一个磁阻电阻的阻值 R_1 及其固有参数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0)H_0 + R_0$ ，将另一个磁阻电阻的阻值 R_2 及其固有参数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0 - \theta')H_0 + R_0$ 得到二元方程组：

其中， R 为置于待测磁场中磁阻电阻的阻值， H_0 为待测量磁场的磁场强度， θ 为待测磁场的磁场方向， R_0 为零磁场时磁阻电阻的阻值；

$$k_m = \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0}) \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})} ; \quad \theta_0 = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0}}{A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0}} ; \quad \text{式}$$

中， φ_{F0} 、 φ_{R0} 分别为磁阻电阻置于零磁场时自由层的饱和磁化方向以及参考层的饱和磁化方向；

$$A = \frac{1}{H_{AF}} \frac{1}{h_{BF} \cos \theta_{BF} \sec \varphi_{F0} + \cos^2 \varphi_{F0}} , \quad B = \frac{1}{H_{AR}} \frac{\sin(\theta - \varphi_{R0})}{h_{BR} \cos \theta_{BR} \sec \varphi_{R0} + \cos^2 \varphi_{R0}} ; \quad \text{式中，} H_{AF}、$$

H_{AR} 分别为磁阻电阻自由层的各项异性场幅值及参考层的各项异性场幅值；

$h_{BF}=H_{BF} / H_{AF}$, H_{BF} 、 θ_{BF} 分别为磁阻电阻自由层的内部偏置磁场幅值及方向；

$h_{BR}=H_{BR} / H_{AR}$ 、 H_{BR} 、 θ_{BR} 分别为磁阻电阻参考层的内部偏置磁场幅值及方向；

步骤 S3: 求解步骤 2 中的二元方程组, 得到待测量磁场的磁场强度 H_0 及方向 θ 。

进一步, 若重复执行步骤 M2~步骤 M5 设定次数后, 本次计算结果与前次计算结果的差值仍然不小于设定值, 则认为中大磁场测量步骤的计算过程不收敛。

进一步, 极大磁场测量步骤还包括步骤 N4: 根据方向 θ 对磁场强度 H_0 进行优化。

本发明提供的一种大磁场测量装置, 包括: 小磁场测量模块、中大磁场测量模块及极大磁场测量模块; 另外还包括:

磁阻电阻阻值获取模块, 用于获取外加磁场中四个正交配置的磁阻电阻的阻值; 第一磁阻电阻与第三磁阻电阻位于一条直线上, 第二磁阻电阻与第四磁阻电阻位于另一条直线上, 所述一条直线与所述另一条直线垂直;

磁场计算模块, 用于判断: 若检测到四个磁阻电阻的阻值相对于磁场为 0 时的阻值变化量小于设定值时, 则调用小磁场测量模块对外加磁场进行测量; 若检测到四个磁阻电阻的阻值都变小, 则调用极大磁场测量模块对外加磁场进行测量;

若四个磁阻电阻的阻值均不满足上述两个判断条件, 则将其中两个相互正交的磁阻电阻的阻值带入中大磁场测量模块计算, 若计算过程收敛则判断外加磁场为中大磁场且计算结果为中大磁场的磁场强度及方向; 若计算过程不收敛则将四个磁阻电阻的阻值带入极大磁场测量模块计算, 且判断外加磁场为极大磁场, 计算结果为极大磁场的磁场强度及方向;

其中, 中大磁场测量模块进一步包括:

初始化子模块, 用于获取外加磁场中两个相互正交的磁阻电阻的阻值, 同

时将无磁场时这两个磁阻电阻的初始参考层磁化方向作为给定的参考层磁化方向 φ_{R1} , φ_{R2} ;

自由层及参考层夹角计算子模块, 用于根据两个磁阻电阻的阻值分别计算两个磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角;

自由层磁化方向计算子模块, 用于分别根据两个磁阻电阻的给定参考层磁化方向 φ_{R1} , φ_{R2} 及两个磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角计算出两个磁阻电阻的自由层磁化方向;

外加磁场计算子模块, 根据两个磁阻电阻的给定参考层磁化方向、两个磁阻电阻的自由层磁化方向求解外加磁场的磁场幅值及方向;

精度判断子模块, 用于将本次计算得到的外加磁场的磁场幅值及方向与上一次计算结果相比, 若两次结果的差值大于设定阈值, 则根据本次计算得到的外加磁场的磁场幅值及方向更新两个磁阻电阻的参考层磁化方向并将其作为新的给定的参考层磁化方向 φ_{R1} , φ_{R2} , 并再次执行自由层及参考层夹角计算子模块、自由层磁化方向计算子模块、外加磁场计算子模块及精度判断子模块, 直到两次结果的差值小于设定值;

极大磁场测量模块进一步包括:

磁阻电阻自由层磁化方向与参考层磁化方向夹角计算子模块, 用于根据四个磁阻电阻的阻值计算各磁阻电阻自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角;

外加磁场的磁场强度及方向预计算子模块, 用于根据第一磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角以及第三磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角计算外加磁场的磁场强度 H_1 及方向 θ_1 ; 根据第二磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角以及第四磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角计算外加磁场的磁场强度 H_2 及方向 θ_2 ;

外加磁场的磁场强度及方向确定子模块, 用于根据磁场强度 H_1 与磁场强度 H_2 确定外加磁场最终的磁场强度 H_0 , 根据方向 θ_2 与方向 θ_1 确定外加磁场最终的方向 θ 。

所述小磁场测量模块进一步包括:

磁阻电阻阻值获取子模块，用于获取位于待测磁场中两个相互正交的磁阻电阻的阻值 R_1 , R_2 ;

小磁场方程组建立子模块，用于将其中一个磁阻电阻的阻值 R_1 及其固有参数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0)H_0 + R_0$ ，将另一个磁阻电阻的阻值 R_2 及其固有参数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0 - \theta')H_0 + R_0$ 得到二元方程组：

其中， R 为置于待测磁场中磁阻电阻的阻值， H_0 为待测量磁场的磁场强度， θ 为待测磁场的磁场方向， R_0 为零磁场时磁阻电阻的阻值；

$$k_m = \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0}) \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})}; \quad \theta_0 = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0}}{A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0}}; \quad \text{式}$$

中， φ_{F0} 、 φ_{R0} 分别为磁阻电阻置于零磁场时自由层的饱和磁化方向以及参考层的饱和磁化方向；

$$A = \frac{1}{H_{AF}} \frac{1}{h_{BF} \cos \theta_{BF} \sec \varphi_{F0} + \cos^2 \varphi_{F0}}, \quad B = \frac{1}{H_{AR}} \frac{\sin(\theta - \varphi_{R0})}{h_{BR} \cos \theta_{BR} \sec \varphi_{R0} + \cos^2 \varphi_{R0}}; \quad \text{式中，} H_{AF}、$$

H_{AR} 分别为磁阻电阻自由层的各项异性场幅值及参考层的各项异性场幅值；

$h_{BF} = H_{BF} / H_{AF}$, H_{BF} , θ_{BF} 分别为磁阻电阻自由层的内部偏置磁场幅值及方向；

$h_{BR} = H_{BR} / H_{AR}$, H_{BR} , θ_{BR} 分别为磁阻电阻参考层的内部偏置磁场幅值及方向；

小磁场测量方程组求解子模块，用于求解所述二元方程组，得到待测量磁场的磁场强度 H_0 及方向 θ ；

进一步，若重复执行自由层及参考层夹角计算子模块、自由层磁化方向计算子模块、外加磁场计算子模块及精度判断子模块设定次数后，本次计算结果与前次计算结果的差值仍然不小于设定值，则认为中大磁场测量模块的计算过程不收敛。

进一步，极大磁场测量模块还包括磁场强度优化子模块，用于根据方向 θ 对磁场强度 H_0 进行优化。

综上所述，由于采用了上述技术方案，本发明的有益效果是：

本发明提供的大磁场测量方法实现了对大磁场的准确测量，测量范围扩展

到 $2\text{mOe}\sim 2500\text{Oe}$ ，动态范围达 6 个数量级，特别是可测最大磁场从传统的数十奥斯特扩展到数千奥斯特，扩展 40 倍左右。

附图说明

本发明将通过例子并参照附图的方式说明，其中：

图 1 为外加磁场中磁阻电阻的分布图。

图 2 为本发明方法流程图。

图 3 为隧穿磁阻单畴模型。

图 4 为小磁场环境中隧穿磁阻电阻自由层与参考层贡献的灵敏度随角度变化的仿真图。

图 5 为中大磁场测量步骤的流程图。

图 6 为磁阻电阻的单畴行为的归一化星形曲线示意图。

图 7 为极大磁场测量矢量图。

具体实施方式

本说明书中公开的所有特征，或公开的所有方法或过程中的步骤，除了互相排斥的特征和/或步骤以外，均可以以任何方式组合。

本说明书中公开的任一特征，除非特别叙述，均可被其他等效或具有类似目的的替代特征加以替换。即，除非特别叙述，每个特征只是一系列等效或类似特征中的一个例子而已。

首先，在外加磁场中放置四个正交配置的磁阻电阻（ I 以下简称为电阻），布置如图 1 所示。其中电阻 R_1 与电阻 R_3 位于一条直线上，电阻 R_2 与电阻 R_4 位于另一条直线上，两条直线正交。

如图 2，本发明提供的一种大磁场测量方法，包括：

步骤 1：获取前述四个磁阻电阻的阻值。

步骤 2: 若检测到四个磁阻电阻的阻值相对于磁场为 0 时的阻值变化量小于设定值时, 根据不同的技术精度要求设定值是可调的, 如 2%~5%, 认为外界磁场很小, 则调用小磁场测量模块对外加磁场进行测量; 若检测到四个磁阻电阻的阻值都变小, 则直接调用极大磁场测量模块对外加磁场进行测量;

若四个磁阻电阻的阻值均不满足上述两个判断条件, 则将其中两个相互正交的磁阻电阻的阻值, 如 R1 与 R2 或者 R3 或 R4, 带入中大磁场测量步骤计算, 若计算过程收敛则判断外加磁场为中大磁场且计算结果为中大磁场的磁场强度及方向; 若计算过程不收敛则将四个磁阻电阻的阻值带入极大磁场测量步骤计算, 且判断外加磁场为极大磁场, 计算结果为极大磁场的磁场强度及方向。

下面分别介绍小磁场测量步骤、中大磁场测量步骤及极大磁场测量步骤。

小磁场测量步骤

小磁场测量可采用现有的测量技术, 为了获取更高的测量精度, 在本发明一个优选实施例中采用以下步骤进行。

测量位于待测小磁场中两个正交磁阻电阻的阻值 R_1 、 R_2 。当然也可以获取 R_3 、 R_4 进计算。本实施例以阻值 R_1 、 R_2 进行计算。

将其中一个磁阻电阻的阻值 R_1 及其固有参数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0)H_0 + R_0$, 将另一个磁阻电阻的阻值 R_2 及其固有参数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0 - \theta')H_0 + R_0$ 得到二元方程组:

其中, R 为置于待测磁场中磁阻电阻的阻值, H_0 为待测量磁场的磁场强度, θ 为待测磁场的磁场方向, R_0 为零磁场时磁阻电阻的阻值;

$$k_m = \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0}) \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})}, \quad \theta_0 = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0}}{A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0}}; \quad \text{式}$$

中, φ_{F0} 、 φ_{R0} 分别为磁阻电阻置于零磁场时自由层的饱和磁化方向以及参考层的饱和磁化方向;

$$A = \frac{1}{H_{AF}} \frac{1}{h_{BF} \cos \theta_{BF} \sec \varphi_{F0} + \cos^2 \varphi_{F0}}, \quad B = \frac{1}{H_{AR}} \frac{\sin(\theta - \varphi_{R0})}{h_{BR} \cos \theta_{BR} \sec \varphi_{R0} + \cos^2 \varphi_{R0}}; \quad \text{式中, } H_{AF}、$$

H_{AR} 分别为磁阻电阻自由层的各项异性场幅值及参考层的各项异性场幅值；

$h_{BF}=H_{BF} / H_{AF}$, H_{BF} 、 θ_{BF} 分别为磁阻电阻自由层的内部偏置磁场幅值及方向；

$h_{BR}=H_{BR} / H_{AR}$, H_{BR} 、 θ_{BR} 分别为磁阻电阻参考层的内部偏置磁场幅值及方向。

即最后得到的两个方程为：

$$R_1 = k_{m1} \cos(\theta - \theta_{01})H_0 + R_{01}; \quad R_2 = k_{m2} \cos(\theta - \theta_{02} - \theta')H_0 + R_{02};$$

其中， R_{01} 为零磁场时第一磁阻电阻的阻值，可以测试得到。

$$k_{m1} = \sin(\varphi_{F01} - \varphi_{R01}) \sqrt{A_1^2 + B_1^2 - 2A_1B_1 \cos(\varphi_{F01} - \varphi_{R02})};$$

$\theta_{01} = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{B_1 \sin \varphi_{R01} - A_1 \sin \varphi_{F01}}{A_1 \cos \varphi_{F01} - B_1 \cos \varphi_{R01}}$ ；式中， φ_{F01} 、 φ_{R01} 分别为第一磁阻电阻置于零磁

场时自由层的饱和磁化方向以及参考层的饱和磁化方向， φ_{F01} 、 φ_{R01} 均可在零磁场时测得。

$$A_1 = \frac{1}{H_{AF1} h_{BF1} \cos \theta_{BF1} \sec \varphi_{F01} + \cos^2 \varphi_{F01}}, \quad B_1 = \frac{1}{H_{AR1} h_{BR1} \cos \theta_{BR1} \sec \varphi_{R01} + \cos^2 \varphi_{R01}}; \text{ 式中,}$$

H_{AF1} 、 H_{AR1} 分别为第一磁阻电阻自由层的各项异性场幅值及参考层的各项异性

场幅值； $h_{BF1}=H_{BF1} / H_{AF1}$, H_{BF1} 、 θ_{BF1} 分别为第一磁阻电阻自由层的内部偏置磁

场幅值及方向； $h_{BR1}=H_{BR1} / H_{AR1}$, H_{BR1} 、 θ_{BR1} 分别为第一磁阻电阻参考层的内部

偏置磁场幅值及方向，这些值为磁阻电阻固有的参数，可以测得也可以直接从

磁阻电阻厂商提供的数据手册中获取。

同样的方式，将第二磁阻的相关参数带入，得到 k_{m2} 及 θ_{02} 。

计算上述两个方程组成的方程组的解，便得到待测小磁场的磁场强度 H_0 及方向 θ 。

本发明方法适用各类磁阻电阻，包括隧穿磁阻电阻、巨磁阻电阻以及自旋阀结构磁阻电阻等。

下面以隧穿磁阻电阻为例，阐述上述方法的推导过程，以便本领域技术人

员更好的理解本发明。

在小磁场范围测量情况下，由于外加磁场远小于参考层和被钉扎层内部偏置场，钉扎层和参考层几乎不变，自由层和参考层间的耦合能可计入自由层计算。自由层和参考层均可简化为图 3 中最简单的模型，且可分开计算。令易轴角度 $\alpha=0$ ，则自由层和参考层的磁化方向为：

$$\begin{aligned} h_F \sin(\varphi_F - \theta) + h_{BF} \sin(\varphi_F - \theta_{BF}) + \sin \varphi_F \cos \varphi_F = 0 \\ h_R \sin(\varphi_R - \theta) + h_{BR} \sin(\varphi_R - \theta_{BR}) + \sin \varphi_R \cos \varphi_R = 0 \end{aligned}; \text{ 式中, } h_F = H / H_{AF}, h_R = H / H_{AR}, \varphi_F、\varphi_R \text{ 分别为隧穿磁阻电阻自由层的饱和磁化强度、参考层的饱和磁化强度。}$$

无外界磁场时，各层磁化方向满足：

$$\begin{aligned} h_{BF} \sin(\varphi_{F0} - \theta_{BF}) + \sin \varphi_{F0} \cos \varphi_{F0} = 0 \\ h_{BR} \sin(\varphi_{R0} - \theta_{BR}) + \sin \varphi_{R0} \cos \varphi_{R0} = 0 \end{aligned};$$

其中自由层磁化方向满足：

$$\cos \varphi_F = \frac{(h_{BF} \cos \theta_{BF} + h_F \cos \theta) \sin \varphi_F}{h_{BF} \sin \theta_{BF} + h_F \sin \theta - \sin \varphi_F};$$

当外界磁场方向不变时，自由层磁化方向满足：
$$\frac{d(\cos \varphi_F)}{dh_F} = -\tan \varphi_F \frac{d(\sin \varphi_F)}{dh_F},$$

则在外界磁场为零时的导数满足：

$$\left. \frac{d(\sin \varphi_F)}{dh_F} \right|_{h_F=0} = \frac{\sin(\theta - \varphi_{F0})}{h_{BF} \cos \theta_{BF} \sec^2 \varphi_{F0} + \cos \varphi_{F0}};$$

相应地，参考层在外界磁场为零时的导数满足：

$$\left. \frac{d(\sin \varphi_R)}{dh_R} \right|_{h_R=0} = \frac{\sin(\theta - \varphi_{R0})}{h_{BR} \cos \theta_{BR} \sec^2 \varphi_{R0} + \cos \varphi_{R0}};$$

可知，隧穿磁阻电阻灵敏度包括两个分量：自由层分量和参考层分量。每个分量的最大灵敏度方向分别垂直于其初始的磁化方向。

因此，隧穿磁阻电阻在外界磁场为零时的导数满足：

$$\frac{1}{0.5\Delta_{\max}R_{\text{avg}}}\frac{dR}{dH}\Big|_{H=0} = \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0}) \left(\frac{1}{H_{AF} h_{BF} \cos \theta_{BF} \sec \varphi_{F0} + \cos^2 \varphi_{F0}} - \frac{1}{H_{AR} h_{BR} \cos \theta_{BR} \sec \varphi_{R0} + \cos^2 \varphi_{R0}} \right) \quad (1);$$

$$\frac{1}{0.5\Delta_{\max}R_{\text{avg}}}\frac{dR}{dH}\Big|_{H=0} \text{ 为归一化后的隧穿磁阻电阻的灵敏度, } R_{\text{avg}} = (R_{\max} + R_{\min}) / 2,$$

为平均电阻； $\Delta_{\max}=(R_{\max}-R_{\min})/R_{\text{avg}}$ ，为最大磁电阻变化率。当磁阻电阻的自由层和参考层磁化方向相同时，电阻值最小，为 R_{\min} ，当自由层和参考层磁化方向相反时，电阻值最大，为 R_{\max} 。

对式（1）进行仿真，得到图 4 的结果。通常，参考层由被钉扎层强耦合在难轴方向，耦合场典型值高达数千高斯，远大于外加磁场，参考层磁化方向随外界磁场变化很小。隧穿磁阻由自由层和参考层贡献的灵敏度随角度变化如图 3，图中 FL 表示自由层灵敏度，RL 表示参考层灵敏度，仿真设置 $h_{\text{BXF}} (=H_{\text{BR}}\cos(\theta_{\text{BR}})) = h_{\text{BXR}} (=H_{\text{BR}}\sin(\theta_{\text{BR}})) = 1$ 。总灵敏度为自由层和参考层分量的叠加，叠加后，即 FL+RL，仍为正弦形式变化。从图 3 可以看出，隧穿磁阻电阻的最大灵敏度方向并非在磁场方向的 90° ，而是在 90° 之前，正弦曲线已出现最大值。

本领域技术人员知晓，在小磁场中隧穿磁阻电阻的阻值 R 与磁场强度呈线性关系，即 $R = \frac{1}{0.5\Delta_{\max}R_{\text{avg}}}\frac{dR}{dH_0}\Big|_{H=0} H_0 + R_0$ 。

对式（1）进行变形，令：

$$A = \frac{1}{H_{AF} h_{BF} \cos \theta_{BF} \sec \varphi_{F0} + \cos^2 \varphi_{F0}}, \quad B = \frac{1}{H_{AR} h_{BR} \cos \theta_{BR} \sec \varphi_{R0} + \cos^2 \varphi_{R0}} \sin(\theta - \varphi_{R0})$$

则等式右边变为：

$$\begin{aligned}
& \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})(A \sin(\theta - \varphi_{F0}) - B \sin(\theta - \varphi_{R0})) \\
&= \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})(A \sin \theta \cos \varphi_{F0} - A \cos \theta \sin \varphi_{F0} - B \sin \theta \cos \varphi_{R0} + B \cos \theta \sin \varphi_{R0}) \\
&= \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})((A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0}) \sin \theta + (B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0}) \cos \theta) \\
&= \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0}) \sqrt{(A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0})^2 + (B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0})^2} \sin\left(\theta + \arctan \frac{B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0}}{A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0}}\right) \\
&= \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0}) \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})} \sin\left(\theta + \arctan \frac{B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0}}{A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0}}\right)
\end{aligned}$$

。

灵敏度幅值为：

$$k_m = \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0}) \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})},$$

灵敏度方向为：

$$\theta_0 = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0}}{A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0}},$$

最终等式为：

$$\frac{1}{0.5 \Delta_{\max} R_{\text{avg}}} \left. \frac{dR}{dH_0} \right|_{H=0} = k_m \cos(\theta - \theta_0)。$$

进一步，得到公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0) H_0 + R_0$ 。

中大磁场测量步骤

如图 5，中大磁场测量步骤包括：

(1) 对于任一外加磁场，测量得到两个不同易轴方向的磁阻电阻，本实施例使用的是相互正交的电阻 R_1 及电阻 R_2 的阻值，同时将两个电阻在无磁场时的初始参考层磁化方向作为给定方向 φ_{R1} ， φ_{R2} 。需要说明的是磁阻的核心典型结构包括反铁磁层（钉扎层）/铁磁层（被钉扎层）/非磁性金属/铁磁层（参考层）/势垒层/铁磁层（自由层），电流垂直膜面。其中，参考层和被钉扎层通过一层非常薄的非磁性金属诱导形成人工合成反铁磁结构，使得参考层和被钉扎层的磁化方向更加稳定，不易受到外界强磁场破坏。而自由层的磁化方向随外界磁场变化而变化。

若磁阻电阻沿某一轴或方向最容易被磁化则称为易轴，反之则谓难轴。

磁阻电阻的阻值能够随外加磁场的变化而变化，因此测量其阻值便可测量外加磁场。将两个具有不同易轴方向的磁阻电阻放置于外加磁场中，通过全桥或其他电阻测量电路可得到两个电阻的阻值。

(2) 根据两个电阻的阻值，可以计算得到各个电阻自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角 $|\varphi_{F1} - \varphi_{R1}|$ ， $|\varphi_{F2} - \varphi_{R2}|$ ，对应如图 5 过程①，计算公式为：

$$|\varphi_{F1} - \varphi_{R1}| = \arccos\left(\frac{R_{1\max} + R_{1\min} - 2R_1}{R_{1\max} - R_{1\min}}\right); \text{ 其中 } \varphi_{F1} \text{ 为第一个磁阻电阻的自由层磁化}$$

方向， $R_{1\min}$ 为第一个磁阻电阻的最小值， $R_{1\max}$ 为第一个磁阻电阻的最大值。

$$|\varphi_{F2} - \varphi_{R2}| = \arccos\left(\frac{R_{2\max} + R_{2\min} - 2R_2}{R_{2\max} - R_{2\min}}\right); \text{ 其中 } \varphi_{F2} \text{ 为第二个磁阻电阻的自由层磁化}$$

方向， $R_{2\min}$ 为第二个磁阻电阻的最小值， $R_{2\max}$ 为第二个磁阻电阻的最大值。

当自由层和参考层磁化方向相同时，磁阻电阻值最小，为 R_{\min} ，当自由层和参考层磁化方向相反时，电阻值最大，为 R_{\max} 。 $R_{1\min}$ 、 $R_{1\max}$ 为第一磁阻电阻的最小值及最大值， $R_{2\min}$ 、 $R_{2\max}$ 为第二磁阻电阻的最小值及最大值，均可通过分别标定两个磁阻电阻得到。

(3) 对于给定的参考层磁化方向，计算自由层磁化方向 φ_{F1} ， φ_{F2} ，如图 5 过程②，计算公式为 $\varphi_F = \begin{cases} \varphi_R + |\varphi_F - \varphi_R|, S_1 \\ \varphi_R - |\varphi_F - \varphi_R|, S_2 \end{cases}$ ，将 $|\varphi_{F1} - \varphi_{R1}|$ 、 φ_{R1} 带入前式便得到第一磁阻电阻的自由层磁化方向 φ_{F1} ，将 $|\varphi_{F2} - \varphi_{R2}|$ 、 φ_{R2} 带入前式便得到第二磁阻电阻的自由层磁化方向 φ_{F2} 。

式中， S_1 、 S_2 分别表示自由层磁畴处于图 6 中的易轴正方向范围 ($-\pi/2 \sim \pi/2$) 或者易轴负方向范围 ($\pi/2 \sim 3\pi/2$)。对于特定的磁阻电阻其自由层磁畴的状态是唯一的。

对于隧穿磁阻电阻来说，当隧穿磁阻电阻自由层的内部易轴偏置磁场大于

各向异性场时，按照本发明中四个磁阻电阻的布设方式，就能确保其中总至少有两个相互正交的磁阻电阻的自由层磁畴处于 S1 状态，选择状态已知的两个电阻计算中大磁场，则可以确定两者的自由层磁化方向 φ_{F1} 、 φ_{F2} 。而在制作内部易轴偏置磁场大于各向异性场的隧穿磁阻电阻工艺是现有的。

(4) 根据计算得到的自由层磁化方向 φ_{F1} ， φ_{F2} ，计算被测磁场幅值和方向 h_F ， θ ，如图 5 过程③，计算公式为式：

$$\begin{pmatrix} -\sin(\alpha_1 + \varphi_{F1}) & \cos(\alpha_1 + \varphi_{F1}) \\ -\sin(\alpha_2 + \varphi_{F2}) & \cos(\alpha_2 + \varphi_{F2}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_F \cos \theta \\ h_F \sin \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{BF} \sin(\varphi_{F1} - \theta_{BF}) + \sin \varphi_{F1} \cos \varphi_{F1} - h_J \sin(\varphi_{F1} - \varphi_{R1}) \\ h_{BF} \sin(\varphi_{F2} - \theta_{BF}) + \sin \varphi_{F2} \cos \varphi_{F2} - h_J \sin(\varphi_{F2} - \varphi_{R2}) \end{pmatrix};$$

式中， α_1 ， α_2 分别为两个磁阻电阻的易轴方向， h_{JFR} 为任意一个磁阻电阻的自由层与参考层的耦合场， $h_{BF} = H_{BF} / H_{AF}$ ， H_{BF} 为磁阻电阻自由层的内部偏置磁场大小， H_{AF} 为自由层各向异性场大小； θ_{BF} 为自由层的内部偏置磁场方向。本实施例中的四个磁阻电阻相同，因此认为它们的固有参数也是相同的。在计算时，选取任意一个磁阻电阻的固有参数即可。

(5) 针对计算得到的磁场参数与前一次结果比较，是否达到精度要求（本实施例中，当两次计算结果中磁场强度的差值小于 1E-4，方向的差值小于 0.01° 时认为达到精度要求），达到要求则输出结果；否则根据磁场计算更新参考层磁化方向角度 φ_{R1} ， φ_{R2} ，如图 5 过程④，并返回步骤（2）继续迭代。

其中更新参考层磁化方向角度的步骤为：

求解一元四次方程 $x_1^4 - 2h_{x1}x_1^3 + (h_{x1}^2 + h_{y1}^2 - 1)x_1^2 + 2h_{x1}x_1 - h_{x1}^2 = 0$ ，其中 h_{x1} ， h_{y1} 分别为外加磁场在第一磁阻电阻易轴和难轴方向上的磁场，二者根据步骤 4 的计算结果得到， $h_{x1} = h_F \cos \theta$ ， $h_{y1} = h_F \sin \theta$ ； $x_1 = \sin \varphi_{R1}$ 。

上述一元四次方程具有 4 个解，当隧穿磁阻处于稳定平衡状态时， φ_{R1} 只

有一个解。该解取决于 3 个条件：

- 1) x_1 为实数且 $|x_1| \leq 1$;
- 2) $h_{Y1} \cos \varphi_{R1} + h_{X1} \sin \varphi_{R1} + \cos 2\varphi_{R1} \geq 0$;
- 3) 该解与隧穿磁阻的初始位置间所有角度能量必须小于初始位置的能量。

求解一元四次方程 $x_2^4 - 2h_{X2}x_2^3 + (h_{X2}^2 + h_{Y2}^2 - 1)x_2^2 + 2h_{X2}x_2 - h_{X2}^2 = 0$ ，其中 h_{X2} ， h_{Y2} 分别为外加磁场在第二磁阻电阻易轴和难轴方向上的磁场，二者根据步骤 4 的计算结果得到，由于第一磁阻电阻与第二磁阻电阻正交，因此 $h_{X2} = h_F \sin \theta$ ， $h_{Y2} = h_F \cos \theta$ ； $x_2 = \sin \varphi_{R2}$ 。

与 φ_{R1} 的筛选过程同理，确定 φ_{R2} 。

将求解得到的 φ 值分别作为新的给定的参考层磁化方向 φ_{R1} ， φ_{R2} 。

在其他实施例中，可以借助计算机数值方法进行求解以下公式得到磁阻电阻的参考层磁化方向角度，即将技术人员认为可能的角度带入下列公式计算，判断其结果是否接近 0，如是则认为带入的角度为 φ 的解：
 $h_Y \sin \varphi - h_X \cos \varphi + \sin \varphi \cos \varphi = 0$ ， h_X ， h_Y 分别为外加磁场在磁阻电阻易轴和难轴方向上的磁场。上式为隧穿磁阻单畴模型计算在参考层的磁化方向角度的一般表达式，令 $x = \sin \varphi$ ，上式可演化为：

$x^4 - 2h_X x^3 + (h_X^2 + h_Y^2 - 1)x^2 + 2h_X x - h_X^2 = 0$ ，亦即前一实施例计算参考层磁化方向的公式。但是使用计算机数值方法求解会存在精度、时间和全局收敛性问题，因此推荐使用前一实施例计算磁阻电阻参考层磁化方向。

通过上述迭代，参考层磁化方向将逐渐收敛到真实方向，同时计算得到的外加磁场也收敛到真实的外加磁场。迭代算法的收敛性取决于在计算参考层磁化方向时是否收敛。

若重复迭代设定次数后，计算结果与前次计算结果的差值仍然不小设定值，

则认为计算过程不能收敛，当前的外加磁场为极大磁场。设定次数根据不同的磁阻电阻及计算精度要求设定，本实施例设定的次数是 20 次。

极大磁场测量步骤

根据图 1 布置，四个磁阻电阻的极大磁场测量分布图如图 7 所示。以电阻参考层偏置场方向为参考方向，四个电阻依次旋转 90° 正交布置。图中 H , θ 为外加磁场幅值和方向；FL 为四个电阻的自由层磁化方向的合成方向，可近似认为均和外加磁场方向相同；四个矢量 H_{BR} 表示四个磁阻电阻的参考层内部偏置场的幅值和方向，本实施例中四个磁阻电阻相同，因此认为它们的参考层内部偏置场幅值相同，相邻的两个磁阻电阻的参考层内部偏置场方向正交； $RL_{1,2,3,4}$ 分别表示为四个电阻的参考层磁化方向，其与外加磁场和各自的参考层内部偏置场的合成方向一致； $\varphi_{FR1,2,3,4}$ 为四个电阻自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角。

由图 7 的矢量关系，可得四个芯片磁化方向和外加磁场的关系为：

$$\begin{cases} H \sin \varphi_{FR1} = H_{BR} \sin(\theta - \varphi_{FR1}) \\ H \sin \varphi_{FR2} = H_{BR} \cos(\theta + \varphi_{FR2}) \\ H \sin \varphi_{FR3} = H_{BR} \sin(\theta + \varphi_{FR3}) \\ H \sin \varphi_{FR4} = H_{BR} \cos(\theta - \varphi_{FR4}) \end{cases};$$

外加磁场的幅值和方向可通过上述方程组的其中两个计算得到。然而仅有两个电阻无法计算整个二维平面的磁场，如当选择电阻 R1 和电阻 R3 计算外加磁场时，显然外加磁场为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 和 $180^\circ \sim 360^\circ$ 时镜面对称，因此必须先借助另外两个电阻判断外加磁场方向范围，然后选择合适的两个电阻进行计算。

以电阻 R1 和电阻 R3 作为一组，可计算得到：

$$\begin{cases} \theta_1 = \arctan \left(\frac{2 \sin \varphi_{FR1} \sin \varphi_{FR3}}{\sin(\varphi_{FR3} - \varphi_{FR1})} \right) \\ H_1 = \frac{H_{BR} \sin(\varphi_{FR1} + \varphi_{FR3})}{\sqrt{\sin^2(\varphi_{FR1} - \varphi_{FR3}) + (2 \sin \varphi_{FR1} \sin \varphi_{FR3})^2}} \end{cases} ;$$

式中， H_1 ， θ_1 分别为通过 R_1 和 R_3 计算得到的外加磁场幅值和方向。

以电阻 R_2 和电阻 R_4 作为另一组，可计算得到：

$$\begin{cases} \theta_2 = \arctan \left(\frac{2 \sin \varphi_{FR2} \sin \varphi_{FR4}}{\sin(\varphi_{FR4} - \varphi_{FR2})} \right) \\ H_2 = \frac{H_{BR} \sin(\varphi_{FR2} + \varphi_{FR4})}{\sqrt{\sin^2(\varphi_{FR2} - \varphi_{FR4}) + (2 \sin \varphi_{FR2} \sin \varphi_{FR4})^2}} \end{cases} ;$$

式中， H_2 ， θ_2 分别为通过 R_2 和 R_4 计算得到的外加磁场幅值和方向。

通过比较比较上述两式的角度，可得外加磁场幅值和方向为：

$$H_0 = H_1 = H_2$$

$$\theta = \begin{cases} \theta_1, & \theta_1 \geq 0, \theta_2 \geq 0 \\ -\theta_1, & \theta_1 \geq 0, \theta_2 < 0 \\ \theta_1 + \pi, & \theta_1 < 0, \theta_2 \geq 0 \\ -\theta_1 - \pi, & \theta_1 < 0, \theta_2 < 0 \end{cases}$$

上述公式中，各个磁阻电阻自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角计算过程参见中大磁场测量步骤的第（2）步。

经过实验，我们发现通过上述步骤计算得到的极大磁场的磁场强度与实际值具有一定的差别，且其和实际值基本保持线性关系，因此可对其进行修正。

由于前述步骤计算得到的磁场方向基本准确，因此只需对磁场幅值进行修正即可。修正方案为： $H = kH_0 + b$ ， H_0 为前述步骤得到的外加磁场的磁场强度， k 、 b 为修正系数，和被测磁场角度相关， H 为优化后的磁场幅值。修正系数 k 和 b 与被测磁场方向的关系为：

$$\begin{cases} k = 1.71 - 0.18|\cos 2\theta|, & 0 < \theta < \pi/2 \\ b = 0.19\theta - 0.94, & -0.1 < \theta < \pi/4 - 0.1 \end{cases} ; \text{其他角度范围满足周期特性。}$$

需要说明的是，针对不同的磁阻电阻，修正系数 k 和 b 是不同的，需要针对特定的磁阻电阻进行试验测试标定。具体做法是将本发明中计算得到的 H_0 与真实磁场（精度更高的仪器测定的结果）比较，然后通过数值拟合的方法得到 H_0 与真实磁场之间的数值关系。

本发明还提供了一套与上述方法步骤一一对应的软系统。

本发明并不局限于前述的具体实施方式。本发明扩展到任何在本说明书中披露的新特征或任何新的组合，以及披露的任一新的方法或过程的步骤或任何新的组合。

1、一种宽磁场范围测量方法，其特征在于，包括：小磁场测量步骤、中大磁场测量步骤及极大磁场测量步骤；另外还包括：

步骤 1：将四个正交配置的磁阻电阻放置到外加磁场中，并获取各个磁阻电阻的阻值；第一磁阻电阻与第三磁阻电阻位于一条直线上，第二磁阻电阻与
5 第四磁阻电阻位于另一条直线上，所述一条直线与所述另一条直线垂直；

步骤 2：若检测到四个磁阻电阻的阻值相对于磁场为 0 时的阻值变化量小于设定值时，则采用小磁场测量步骤对外加磁场进行测量；若检测到四个磁阻电阻阻值都变小，则采用极大磁场测量步骤对外加磁场进行测量；

若四个磁阻电阻的阻值均不满足上述两个判断条件，则将其中两个相互正
10 交的磁阻电阻的阻值带入中大磁场测量步骤计算，若计算过程收敛则判断外加磁场为中大磁场且计算结果为中大磁场的磁场强度及方向；若计算过程不收敛则将四个磁阻电阻的阻值带入极大磁场测量步骤计算，且判断外加磁场为极大磁场，计算结果为极大磁场的磁场强度及方向；

其中，中大磁场测量步骤进一步包括：

15 步骤 M1：获取外加磁场中两个相互正交的磁阻电阻的阻值，同时将无磁场时这两个磁阻电阻的初始参考层磁化方向作为给定的参考层磁化方向 φ_{R1} ， φ_{R2} ；

步骤 M2：根据两个磁阻电阻的阻值分别计算两个磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角；

20 步骤 M3：分别根据两个磁阻电阻的给定参考层磁化方向 φ_{R1} ， φ_{R2} 及两个磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角计算出两个磁阻电阻的自由层磁化方向；

步骤 M4：根据两个磁阻电阻的给定参考层磁化方向、两个磁阻电阻的自由层磁化方向求解外加磁场的磁场幅值及方向；

25 步骤 M5：将本次计算得到的外加磁场的磁场幅值及方向与前一次计算结果相比，若两次结果的差值大于设定阈值，则根据本次计算得到的外加磁场的

磁场幅值及方向更新两个磁阻电阻的参考层磁化方向并将其作为新的给定的参考层磁化方向 φ_{R1} , φ_{R2} , 并再次执行步骤 M2~步骤 M5, 直到两次结果的差值小于设定值;

极大磁场测量步骤进一步包括:

5 步骤 N1: 根据四个磁阻电阻的阻值计算各磁阻电阻自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角;

步骤 N2: 根据第一磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角以及第三磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角计算外加磁场的磁场强度 H_1 及方向 θ_1 ; 根据第二磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角以及第四磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角计算外加磁场的磁场强度 H_2 及方向 θ_2 ;

步骤 N3: 根据磁场强度 H_1 与磁场强度 H_2 确定外加磁场最终的磁场强度 H_0 , 根据方向 θ_2 与方向 θ_1 确定外加磁场最终的方向 θ 。

2、根据权利要求 1 所述的一种宽磁场范围测量方法, 其特征在于, 小磁场测量步骤进一步包括:

步骤 S1: 采集位于待测磁场中两个相互正交的磁阻电阻的阻值 R_1 , R_2 ;

步骤 S2: 将其中一个磁阻电阻的阻值 R_1 及其固有参数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0)H_0 + R_0$, 将另一个磁阻电阻的阻值 R_2 及其固有参数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0 - \theta')$

20 其中, R 为置于待测磁场中磁阻电阻的阻值, H_0 为待测量磁场的磁场强度, θ 为待测磁场的磁场方向, R_0 为零磁场时磁阻电阻的阻值;

$$k_m = \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0}) \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})}; \quad \theta_0 = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0}}{A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0}}; \quad \text{式}$$

中, φ_{F0} 、 φ_{R0} 分别为磁阻电阻置于零磁场时自由层的饱和磁化方向以及参考层的饱和磁化方向;

25 $A = \frac{1}{H_{AF}} \frac{1}{h_{BF} \cos \theta_{BF} \sec \varphi_{F0} + \cos^2 \varphi_{F0}}, \quad B = \frac{1}{H_{AR}} \frac{\sin(\theta - \varphi_{R0})}{h_{BR} \cos \theta_{BR} \sec \varphi_{R0} + \cos^2 \varphi_{R0}}; \quad \text{式中, } H_{AF}、$

H_{AR} 分别为磁阻电阻自由层的各项异性场幅值及参考层的各项异性场幅值；

$h_{BF}=H_{BF} / H_{AF}$, H_{BF} 、 θ_{BF} 分别为磁阻电阻自由层的内部偏置磁场幅值及方向；

$h_{BR}=H_{BR} / H_{AR}$, H_{BR} 、 θ_{BR} 分别为磁阻电阻参考层的内部偏置磁场幅值及方向；

步骤 S3: 求解步骤 2 中的二元方程组, 得到待测量磁场的磁场强度 H_0

5 及方向 θ ;

3、根据权利要求 1 所述的一种宽磁场范围测量方法, 其特征在于, 若重复执行步骤 M2~步骤 M5 设定次数后, 本次计算结果与前次计算结果的差值仍然不小于设定值, 则认为中大磁场测量步骤的计算过程不收敛。

4、根据权利要求 1 所述的一种宽磁场范围测量方法, 其特征在于, 极大
10 磁场测量步骤还包括步骤 N4: 根据方向 θ 对磁场强度 H_0 进行优化。

5、一种宽磁场范围测量装置, 其特征在于, 包括: 小磁场测量模块、中大磁场测量模块及极大磁场测量模块; 另外还包括:

磁阻电阻阻值获取模块, 用于获取外加磁场中四个正交配置的磁阻电阻的
15 阻值; 第一磁阻电阻与第三磁阻电阻位于一条直线上, 第二磁阻电阻与第四磁阻电阻位于另一条直线上, 所述一条直线与所述另一条直线垂直;

磁场计算模块, 用于判断: 若检测到四个磁阻电阻的阻值相对于磁场为 0 时的阻值变化量小于设定值时, 则调用小磁场测量模块对外加磁场进行测量; 若检测到四个磁阻电阻的阻值都变小, 则调用极大磁场测量模块对外加磁场进行测量;

20 若四个磁阻电阻的阻值均不满足上述两个判断条件, 则将其中两个相互正交的磁阻电阻的阻值带入中大磁场测量模块计算, 若计算过程收敛则判断外加磁场为中大磁场且计算结果为中大磁场的磁场强度及方向; 若计算过程不收敛则将四个磁阻电阻的阻值带入极大磁场测量模块计算, 且判断外加磁场为极大磁场, 计算结果为极大磁场的磁场强度及方向;

25 其中, 中大磁场测量模块进一步包括:

初始化子模块, 用于获取外加磁场中两个相互正交的磁阻电阻的阻值, 同

时将无磁场时这两个磁阻电阻的初始参考层磁化方向作为给定的参考层磁化方向 φ_{R1} , φ_{R2} ;

自由层及参考层夹角计算子模块, 用于根据两个磁阻电阻的阻值分别计算两个磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角;

- 5 自由层磁化方向计算子模块, 用于分别根据两个磁阻电阻的给定参考层磁化方向 φ_{R1} , φ_{R2} 及两个磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角计算出两个磁阻电阻的自由层磁化方向;

外加磁场计算子模块, 根据两个磁阻电阻的给定参考层磁化方向、两个磁阻电阻的自由层磁化方向求解外加磁场的磁场幅值及方向;

- 10 精度判断子模块, 用于将本次计算得到的外加磁场的磁场幅值及方向与上一次计算结果相比, 若两次结果的差值大于设定阈值, 则根据本次计算得到的外加磁场的磁场幅值及方向更新两个磁阻电阻的参考层磁化方向并将其作为新的给定的参考层磁化方向 φ_{R1} , φ_{R2} , 并再次执行自由层及参考层夹角计算子模块、自由层磁化方向计算子模块、外加磁场计算子模块及精度判断子模块,
15 直到两次结果的差值小于设定值;

极大磁场测量模块进一步包括:

磁阻电阻自由层磁化方向与参考层磁化方向夹角计算子模块, 用于根据四个磁阻电阻的阻值计算各磁阻电阻自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角;

- 外加磁场的磁场强度及方向预计算子模块, 用于根据第一磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角以及第三磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角计算外加磁场的磁场强度 H_1 及方向 θ_1 ; 根据第二磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角以及第四磁阻电阻的自由层磁化方向与参考层磁化方向的夹角计算外加磁场的磁场强度 H_2 及方向 θ_2 ;
- 20

- 外加磁场的磁场强度及方向确定子模块, 用于根据磁场强度 H_1 与磁场强度 H_2 确定外加磁场最终的磁场强度 H_0 , 根据方向 θ_2 与方向 θ_1 确定外加磁场最终的方向 θ 。
- 25

6、根据权利要求 5 所述的一种宽磁场范围测量装置, 其特征在于, 所述小

磁场测量模块进一步包括：

磁阻电阻阻值获取子模块，用于获取位于待测磁场中两个相互正交的磁阻电阻的阻值 R_1 ， R_2 ；

小磁场方程组建立子模块，用于将其中一个磁阻电阻的阻值 R_1 及其固有参数 5 数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0)H_0 + R_0$ ，将另一个磁阻电阻的阻值 R_2 及其固有参数带入公式 $R = k_m \cos(\theta - \theta_0 - \theta')H_0 + R_0$ 得到二元方程组：

其中， R 为置于待测磁场中磁阻电阻的阻值， H_0 为待测量磁场的磁场强度， θ 为待测磁场的磁场方向， R_0 为零磁场时磁阻电阻的阻值；

$$k_m = \sin(\varphi_{F0} - \varphi_{R0}) \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos(\varphi_{F0} - \varphi_{R0})}; \quad \theta_0 = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{B \sin \varphi_{R0} - A \sin \varphi_{F0}}{A \cos \varphi_{F0} - B \cos \varphi_{R0}}; \quad \text{式}$$

10 中， φ_{F0} 、 φ_{R0} 分别为磁阻电阻置于零磁场时自由层的饱和磁化方向以及参考层的饱和磁化方向；

$$A = \frac{1}{H_{AF}} \frac{1}{h_{BF} \cos \theta_{BF} \sec \varphi_{F0} + \cos^2 \varphi_{F0}}, \quad B = \frac{1}{H_{AR}} \frac{\sin(\theta - \varphi_{R0})}{h_{BR} \cos \theta_{BR} \sec \varphi_{R0} + \cos^2 \varphi_{R0}}; \quad \text{式中，} H_{AF}、$$

H_{AR} 分别为磁阻电阻自由层的各项异性场幅值及参考层的各项异性场幅值；

$h_{BF} = H_{BF} / H_{AF}$ ， H_{BF} 、 θ_{BF} 分别为磁阻电阻自由层的内部偏置磁场幅值及方向；

15 $h_{BR} = H_{BR} / H_{AR}$ ， H_{BR} 、 θ_{BR} 分别为磁阻电阻参考层的内部偏置磁场幅值及方向；

小磁场测量方程组求解子模块，用于求解所述二元方程组，得到待测量磁场的磁场强度 H_0 及方向 θ 。

7、根据权利要求 5 所述的一种宽磁场范围测量装置，其特征在于，若重复执行自由层及参考层夹角计算子模块、自由层磁化方向计算子模块、外加磁 20 场计算子模块及精度判断子模块设定次数后，本次计算结果与前次计算结果的差值仍然不小于设定值，则认为中大磁场测量模块的计算过程不收敛。

8、根据权利要求 5 所述的一种宽磁场范围测量装置，其特征在于，极大磁场测量模块还包括磁场强度优化子模块，用于根据方向 θ 对磁场强度 H_0 进行优化。

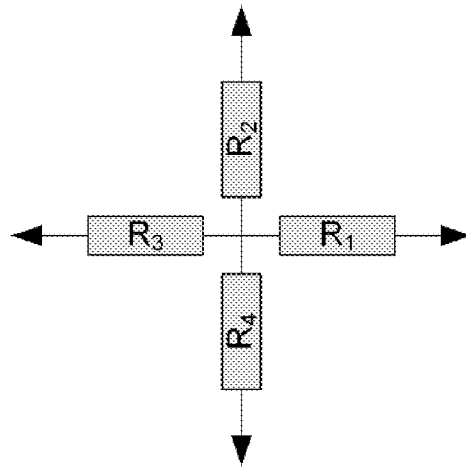


图 1

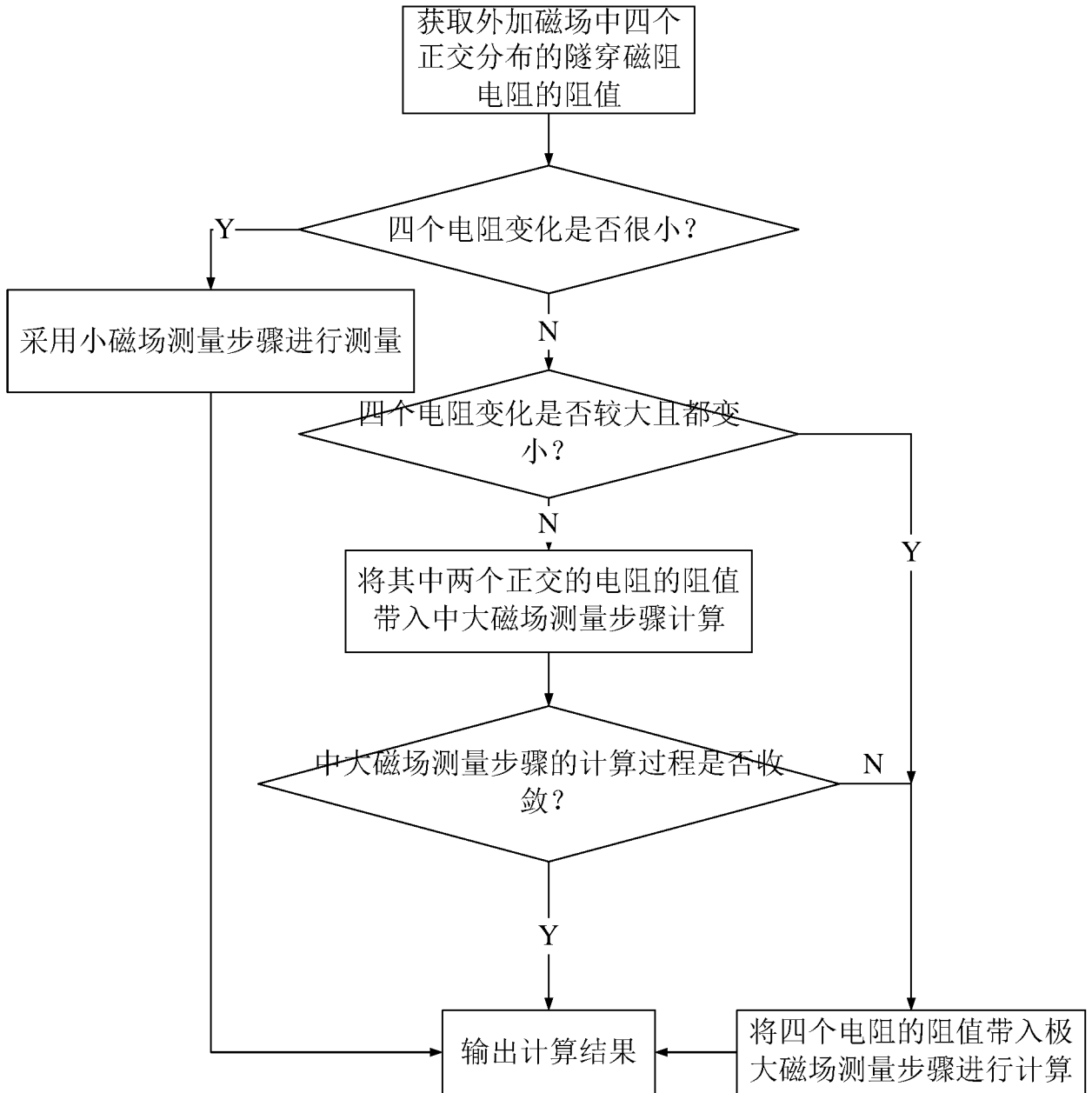


图 2

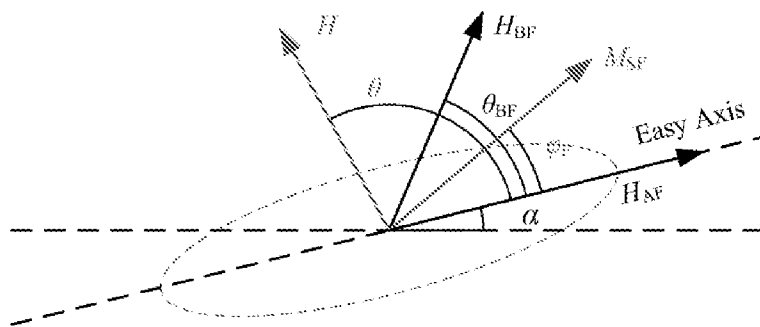


图 3

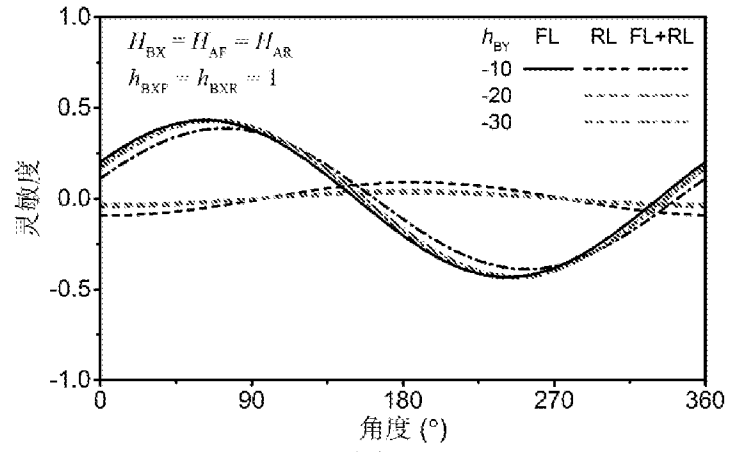


图 4

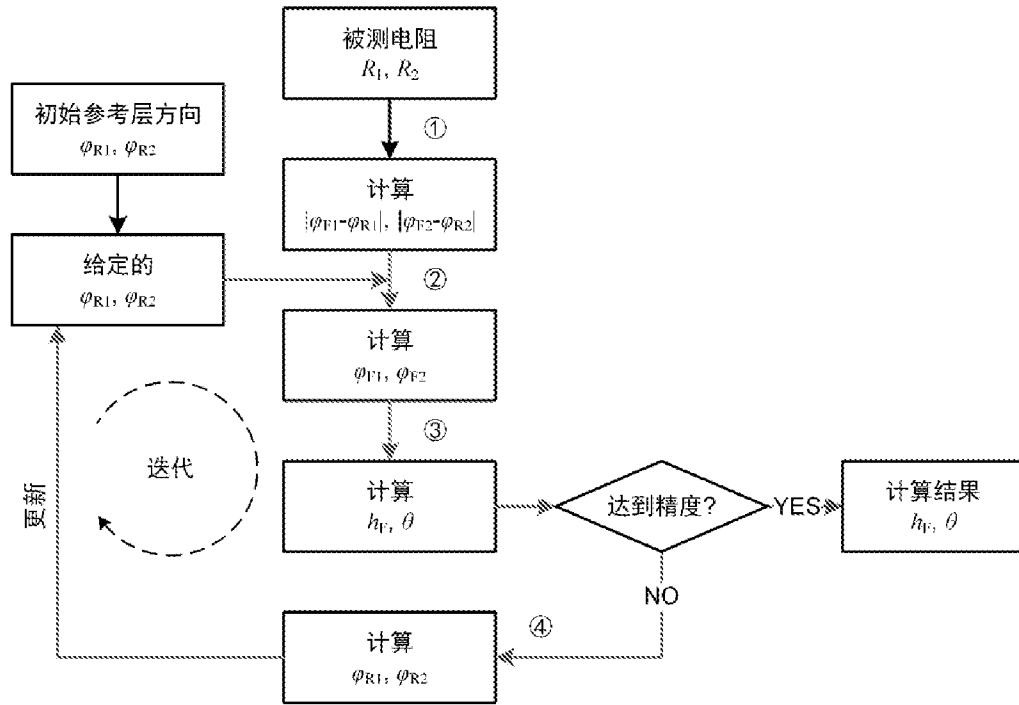


图 5

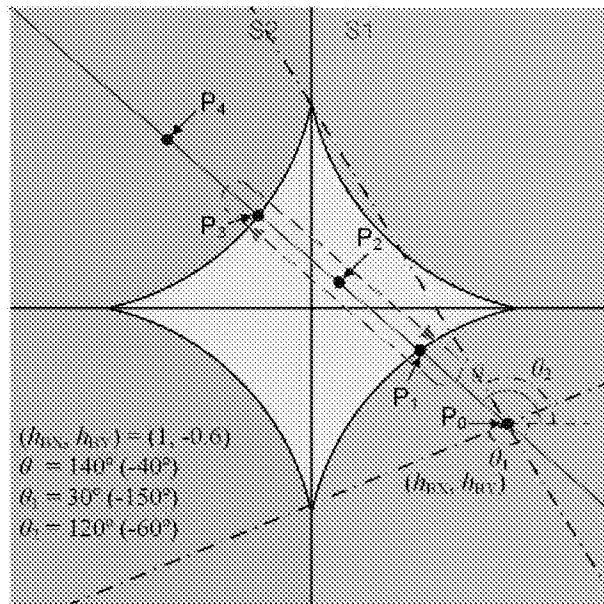


图 6

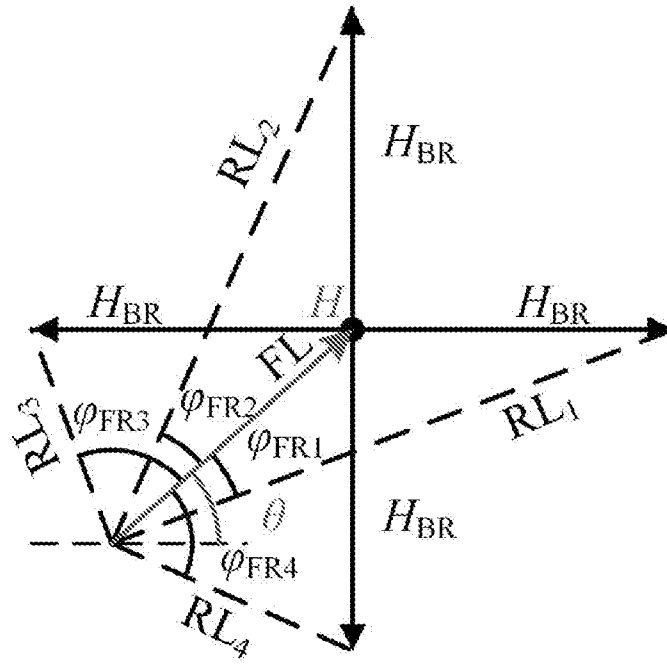


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/090548

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 33/09 (2006.01) i

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)

G01R

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)

CNABS, CNTXT, DWPI, SIPOABS, CNKI: 中大磁场, 极大磁场, 宽磁场, 测量, 隧道, 隧穿, 磁阻, 磁电阻, 穿隧, 磁敏, 磁场, 强度, 场强, 自由层, 参考层, 磁化方向, 夹角, 角度, 阻值, MR, MTJ, TMR, 正交, 垂直, tunnel, magneto resistance, medium and large magnetic field, measure, field strength, field intensity, magnetic field, magnetization direction, direction of magnetization, reference layer, free layer, angle, orthogonal, orthogonality, vertical

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2014266185 A1 (SIDMAN, A.L.), 18 September 2014 (18.09.2014), description, paragraphs [0045]-[0076], and figures 1A-9	1-8
A	CN 101044412 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE), 26 September 2007 (26.09.2007), entire document	1-8
A	CN 104076302 A (INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE), 01 October 2014 (01.10.2014), entire document	1-8
A	CN 202351418 U (WENG, Jinshen), 25 July 2012 (25.07.2012), entire document	1-8
A	CN 102707246 A (SAE MAGNETICS LTD.), 03 October 2012 (03.10.2012), entire document	1-8
A	TW 201038957 A (EVERSPIN TECHNOLOGIES INC), 01 November 2010 (01.11.2010), entire document	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>
---	---

<p>Date of the actual completion of the international search</p> <p style="text-align: center;">23 September 2017</p>	<p>Date of mailing of the international search report</p> <p style="text-align: center;">09 October 2017</p>
<p>Name and mailing address of the ISA</p> <p>State Intellectual Property Office of the P. R. China</p> <p>No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao</p> <p>Haidian District, Beijing 100088, China</p> <p>Facsimile No. (86-10) 62019451</p>	<p>Authorized officer</p> <p style="text-align: center;">LI, Xiaohui</p> <p>Telephone No. (86-10) 62085876</p>

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/090548

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 2014266185 A1	18 September 2014	US 9341684 B2	17 May 2016
		WO 2014158702 A1	02 October 2014
CN 101044412 A	26 September 2007	WO 2006042839 A1	27 April 2006
		US 7855555 B2	21 December 2010
		FR 2876800 B1	02 March 2007
		EA 011901 B1	30 June 2009
		EP 1825285 B1	01 March 2017
		JP 2008517289 A	22 May 2008
		BR PI 0516846 A	23 September 2008
		KR 20070072526 A	04 July 2007
		EA 200700624 A1	26 October 2007
		JP 4649600 B2	09 March 2011
		FR 2876800 A1	21 April 2006
		EP 1825285 A1	29 August 2007
		US 2008186023 A1	07 August 2008
		CN 101044412 B	09 June 2010
CN 104076302 A	01 October 2014	US 2014292312 A1	02 October 2014
		TW I513993 B	21 December 2015
		US 9069033 B2	30 June 2015
		TW 201437659 A	01 October 2014
		CN 104076302 B	19 April 2017
CN 202351418 U	25 July 2012	None	
CN 102707246 A	03 October 2012	US 2012249130 A1	04 October 2012
		CN 102707246 B	20 January 2016
		US 8664950 B2	04 March 2014
TW 201038957 A	01 November 2010	TW I487928 B	11 June 2015
		KR 20110127638 A	25 November 2011
		CN 102292648 B	03 June 2015
		JP 2012518788 A	16 August 2012
		KR 101739261 B1	24 May 2017
		CN 102292648 A	21 December 2011
		US 7977941 B2	12 July 2011
		DE 112010000890 T5	06 September 2012
		US 2010213933 A1	26 August 2010
		WO 2010098967 A1	02 September 2010
		CN 104865539 A	26 August 2015

<p>A. 主题的分类</p> <p>G01R 33/09 (2006.01) i</p> <p>按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类</p>																							
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)</p> <p>G01R</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))</p> <p>CNABS, CNTXT, DWPI, SIPOABS, CNKI: 中大磁场, 极大磁场, 宽磁场, 测量, 隧道, 隧穿, 磁阻, 磁电阻, 穿隧, 磁敏, 磁场, 强度, 场强, 自由层, 参考层, 磁化方向, 夹角, 角度, 阻值, MR, MTJ, TMR, 正交, 垂直, tunnel, magne-to resistance, medium and large magnetic field, measure, field strength, field intensity, magnetic field, magnetization direction, direction of magnetization, reference layer, free layer, angle, ortho-gonal, orthogonality, vertical</p>																							
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>US 2014266185 A1 (ALAN L. SIDMAN) 2014年 9月 18日 (2014 - 09 - 18) 说明书第[0045]-[0076]段, 图1A-9</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101044412 A (原子能源局) 2007年 9月 26日 (2007 - 09 - 26) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104076302 A (财团法人工业技术研究院) 2014年 10月 1日 (2014 - 10 - 01) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 202351418 U (翁锦深) 2012年 7月 25日 (2012 - 07 - 25) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102707246 A (新科实业有限公司) 2012年 10月 3日 (2012 - 10 - 03) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>TW 201038957 A (艾沃思宾技术公司) 2010年 11月 1日 (2010 - 11 - 01) 全文</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	US 2014266185 A1 (ALAN L. SIDMAN) 2014年 9月 18日 (2014 - 09 - 18) 说明书第[0045]-[0076]段, 图1A-9	1-8	A	CN 101044412 A (原子能源局) 2007年 9月 26日 (2007 - 09 - 26) 全文	1-8	A	CN 104076302 A (财团法人工业技术研究院) 2014年 10月 1日 (2014 - 10 - 01) 全文	1-8	A	CN 202351418 U (翁锦深) 2012年 7月 25日 (2012 - 07 - 25) 全文	1-8	A	CN 102707246 A (新科实业有限公司) 2012年 10月 3日 (2012 - 10 - 03) 全文	1-8	A	TW 201038957 A (艾沃思宾技术公司) 2010年 11月 1日 (2010 - 11 - 01) 全文	1-8
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
A	US 2014266185 A1 (ALAN L. SIDMAN) 2014年 9月 18日 (2014 - 09 - 18) 说明书第[0045]-[0076]段, 图1A-9	1-8																					
A	CN 101044412 A (原子能源局) 2007年 9月 26日 (2007 - 09 - 26) 全文	1-8																					
A	CN 104076302 A (财团法人工业技术研究院) 2014年 10月 1日 (2014 - 10 - 01) 全文	1-8																					
A	CN 202351418 U (翁锦深) 2012年 7月 25日 (2012 - 07 - 25) 全文	1-8																					
A	CN 102707246 A (新科实业有限公司) 2012年 10月 3日 (2012 - 10 - 03) 全文	1-8																					
A	TW 201038957 A (艾沃思宾技术公司) 2010年 11月 1日 (2010 - 11 - 01) 全文	1-8																					
国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期																						
2017年 9月 23日	2017年 10月 9日																						
ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员																						
中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	李晓惠																						
传真号 (86-10) 62019451	电话号码 (86-10) 62085876																						

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/090548

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
US	2014266185	A1	2014年 9月 18日	US	9341684	B2	2016年 5月 17日
				WO	2014158702	A1	2014年 10月 2日
CN	101044412	A	2007年 9月 26日	WO	2006042839	A1	2006年 4月 27日
				US	7855555	B2	2010年 12月 21日
				FR	2876800	B1	2007年 3月 2日
				EA	011901	B1	2009年 6月 30日
				EP	1825285	B1	2017年 3月 1日
				JP	2008517289	A	2008年 5月 22日
				BR	PI0516846	A	2008年 9月 23日
				KR	20070072526	A	2007年 7月 4日
				EA	200700624	A1	2007年 10月 26日
				JP	4649600	B2	2011年 3月 9日
				FR	2876800	A1	2006年 4月 21日
				EP	1825285	A1	2007年 8月 29日
				US	2008186023	A1	2008年 8月 7日
				CN	101044412	B	2010年 6月 9日
CN	104076302	A	2014年 10月 1日	US	2014292312	A1	2014年 10月 2日
				TW	1513993	B	2015年 12月 21日
				US	9069033	B2	2015年 6月 30日
				TW	201437659	A	2014年 10月 1日
				CN	104076302	B	2017年 4月 19日
CN	202351418	U	2012年 7月 25日	无			
CN	102707246	A	2012年 10月 3日	US	2012249130	A1	2012年 10月 4日
				CN	102707246	B	2016年 1月 20日
				US	8664950	B2	2014年 3月 4日
TW	201038957	A	2010年 11月 1日	TW	1487928	B	2015年 6月 11日
				KR	20110127638	A	2011年 11月 25日
				CN	102292648	B	2015年 6月 3日
				JP	2012518788	A	2012年 8月 16日
				KR	101739261	B1	2017年 5月 24日
				CN	102292648	A	2011年 12月 21日
				US	7977941	B2	2011年 7月 12日
				DE	112010000890	T5	2012年 9月 6日
				US	2010213933	A1	2010年 8月 26日
				WO	2010098967	A1	2010年 9月 2日
				CN	104865539	A	2015年 8月 26日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)