

(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 2018/090635 A1

(51) 国际专利分类号:
G01R 33/09 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/090546

(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:
201611022606.0 2016年11月18日 (18.11.2016) CN

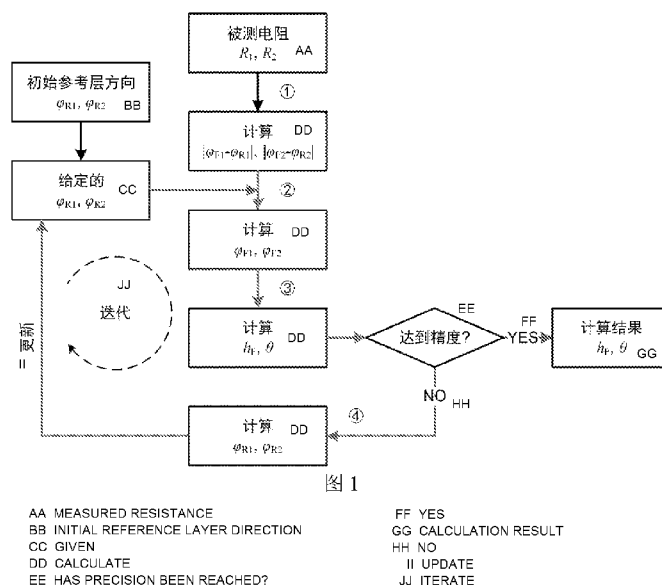
(71) 申请人: 清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。清华四川能源互联网研究院 (SICHUAN ENERGY INTERNET RESEARCH INSTITUTE, TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/

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); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。王善祥 (WANG, Shanxiang); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。赵根 (ZHAO, Gen); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。王中旭 (WANG, Zhongxu); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。曾嵘 (ZENG, Rong); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。庄池杰 (ZHUANG, Chijie); 中国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

(54) Title: MEDIUM AND LARGE MAGNETIC FIELD MEASUREMENT METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 一种中大磁场测量方法及系统



(57) Abstract: A method and system for measuring medium and large magnetic fields, said medium and large magnetic field measurement method comprising the following steps: measuring an arbitrary externally applied magnetic field to obtain resistance values R_1 and R_2 of two tunneling magnetoresistance resistors having different easy axial directions, and also using initial reference layer magnetization directions of the two tunneling magnetoresistance resistors when not in a magnetic field as given reference layer magnetization directions, and calculating on the basis of the resistance values of the two tunneling magnetoresistance resistors an angle between a free layer magnetization direction and the reference layer magnetization direction for each of the two tunneling magnetoresistance resistors; on the basis of the given reference layer magnetization directions of each of the two tunneling magnetoresistance resistors and the angles between the free layer magnetization directions and

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.); 中国四川省成都市洗面桥街33号艺墅花乡405, Sichuan 610041 (CN)。

(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))。

reference layer magnetization directions of the two tunneling magnetoresistance resistors, calculating free layer magnetization directions for the two tunneling magnetoresistance resistors; on the basis of the given reference layer magnetization directions of the two tunneling magnetoresistance resistors and the free layer magnetization directions of the two tunneling magnetoresistance resistors, solving for the magnitude and direction of the externally applied magnetic field.

(57) 摘要: 一种中大磁场测量方法及系统, 该中大磁场测量方法包括以下步骤: 对于任意外加磁场, 测量得到两个不同易轴方向的隧穿磁阻电阻的阻值 R_1 , R_2 , 同时将无磁场时两个隧穿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根据两个隧穿磁阻电阻的阻值分别计算两个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角; 分别根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层磁化方向及两个隧穿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隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向; 根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层磁化方向、两个隧穿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等。

一种中大磁场测量方法及系统

技术领域

本发明涉及磁场测量技术领域，尤其是一种针对中大范围的磁场强度的测量方法。

背景技术

隧穿磁阻电阻在待测磁场较小时具有良好的线性度，测量精度较好，但是其难以对中大范围（磁场强度约为 $4\sim 6 H_{AF}$ ， 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）的磁场进行测量，这是因为：1）隧穿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）隧穿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）隧穿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。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是：针对上述存在的问题，提供一种适用于中大磁场的隧穿磁阻的矢量测量方法。

本发明提供的中大磁场测量方法，包括：

步骤 1：对于任意外加磁场，测量得到两个不同易轴方向的隧穿磁阻电阻的阻值 R_1 ， R_2 ，同时将无磁场时两个隧穿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 2：根据两个隧穿磁阻电阻的阻值分别计算两个隧穿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 3：分别根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层磁化方向 φ_{R1} ， φ_{R2} 及两

个隧穿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隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向；

步骤 4: 根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层磁化方向、两个隧穿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 5: 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隧穿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 2~步骤 5, 直到两次结果的差值小于设定值。

进一步, 步骤 2 中, 计算两个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角的公式分别为: $|\varphi_{F1} - \varphi_{R1}| = \arccos\left(\frac{R_{1\max} + R_{1\min} - 2R_1}{R_{1\max} - R_{1\min}}\right)$; 其中 φ_{F1} 为第一个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向, $R_{1\min}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的最小值, $R_{1\max}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的最大值;

$|\varphi_{F2} - \varphi_{R2}| = \arccos\left(\frac{R_{2\max} + R_{2\min} - 2R_2}{R_{2\max} - R_{2\min}}\right)$; 其中 φ_{F2} 为第二个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向, $R_{2\min}$ 为第二个隧穿磁阻电阻的最小值, $R_{2\max}$ 为第二个隧穿磁阻电阻的最大值。

进一步, 步骤 3 中, 根据公式计算两个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向:

$\varphi_F = \begin{cases} \varphi_R + |\varphi_F - \varphi_R|, & -\pi/2 < \varphi_F < \pi/2 \\ \varphi_R - |\varphi_F - \varphi_R|, & \pi/2 < \varphi_F < 3\pi/2 \end{cases}$, 将 $|\varphi_{F1} - \varphi_{R1}|$ 、 φ_{R1} 带入前式便得到第一隧穿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隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向 φ_{F2} 。

进一步, 步骤 4 中利用下列方程组求解外加磁场的磁场幅值 h_F 及方向 θ :

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

式中 α_1 , α_2 分别为两个隧穿

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, $h_{\text{BF}}=H_{\text{BF}}/H_{\text{AF}}$, 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。

进一步, 步骤 5 中, 更新两个隧穿磁阻电阻的参考层磁化方向 φ_{R1} , φ_{R2} 的步骤进一步包括:

求解一元四次方程 $x_1^4 - 2h_{\text{x1}}x_1^3 + (h_{\text{x1}}^2 + h_{\text{y1}}^2 - 1)x_1^2 + 2h_{\text{x1}}x_1 - h_{\text{x1}}^2 = 0$, 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: $h_{\text{x1}} = h_{\text{F}} \cos \theta$, $h_{\text{y1}} = h_{\text{F}} \sin \theta$; $x_1 = \sin \varphi_{\text{R1}}$;

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) $h_{\text{y1}} \cos \varphi_{\text{R1}} + h_{\text{x1}} \sin \varphi_{\text{R1}} + \cos 2\varphi_{\text{R1}} \geq 0$;

3) 该解与磁阻电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 $x_2^4 - 2h_{\text{x2}}x_2^3 + (h_{\text{x2}}^2 + h_{\text{y2}}^2 - 1)x_2^2 + 2h_{\text{x2}}x_2 - h_{\text{x2}}^2 = 0$, 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: $h_{\text{x2}} = h_{\text{F}} \sin \theta$, $h_{\text{y2}} = h_{\text{F}} \cos \theta$; $x_2 = \sin \varphi_{\text{R2}}$;

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_{R2} 只有一个解, 该解取决于 3 个条件:

1) x_2 为实数且 $|x_2| \leq 1$;

2) $h_{\text{y2}} \cos \varphi_{\text{R2}} + h_{\text{x2}} \sin \varphi_{\text{R2}} + \cos 2\varphi_{\text{R2}} \geq 0$;

3) 该解与磁阻电阻的初始位置间所有角度能量必须小于初始位置的能量; 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} 。

本发明还提供了一种与上述方法对应的中大磁场测量软系统, 包括:

初始化模块, 用于获取任意外加磁场中两个不同易轴方向的隧穿磁阻电阻

的阻值 R_1, R_2 ，同时将无磁场时两个隧穿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 $\varphi_{R1}, \varphi_{R2}$ ；

自由层及参考层夹角计算模块，用于根据两个隧穿磁阻电阻的阻值分别计算两个隧穿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模块，用于分别根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层磁化方向 $\varphi_{R1}, \varphi_{R2}$ 及两个隧穿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隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向；

外加磁场计算模块，用于根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层磁化方向、两个隧穿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隧穿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 $\varphi_{R1}, \varphi_{R2}$ ，并再次执行自由层及参考层夹角计算模块、自由层磁化方向计算模块、外加磁场计算模块及精度判断模块，直到两次结果的差值小于设定值。

自由层及参考层夹角计算模块进一步用于，计算两个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角的公式分别为：

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

方向， $R_{1\min}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的最小值， $R_{1\max}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的最大值；

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

磁化方向， $R_{2\min}$ 为第二个隧穿磁阻电阻的最小值， $R_{2\max}$ 为第二个隧穿磁阻电阻的最大值。

自由层磁化方向计算模块进一步用于，根据公式计算两个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向：

$\varphi_F = \begin{cases} \varphi_R + |\varphi_F - \varphi_R|, & -\pi/2 < \varphi_F < \pi/2 \\ \varphi_R - |\varphi_F - \varphi_R|, & \pi/2 < \varphi_F < 3\pi/2 \end{cases}$, 将 $|\varphi_F - \varphi_R|$ 、 φ_{R1} 带入前式便得到第一隧穿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隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向 φ_{F2} 。

外加磁场计算模块进一步用于, 利用下列方程组求解外加磁场的磁场幅值 h_F 及方向 θ :

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

式中 α_1, α_2 分别为两个隧穿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。

精度判断模块进一步用于, 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, 二者根据外加磁场计算模块的计算结果得到: $h_{X1} = h_F \cos \theta, h_{Y1} = h_F \sin \theta; x_1 = \sin \varphi_{R1}$;

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) 该解与磁阻电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: $h_{X2} = h_F \sin \theta, h_{Y2} = h_F \cos \theta; x_2 = \sin \varphi_{R2}$;

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_{R2} 只

有一个解，该解取决于 3 个条件：

- 1) x_2 为实数且 $|x_2| \leq 1$;
- 2) $h_{y2} \cos \varphi_{R2} + h_{x2} \sin \varphi_{R2} + \cos 2\varphi_{R2} \geq 0$;
- 3) 该解与磁阻电阻的初始位置间所有角度能量必须小于初始位置的能量；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} 。

综上所述，由于采用了上述技术方案，本发明的有益效果是：

本发明提供的中大磁场测量方法实现了对中大磁场的准确测量，扩大了隧穿磁阻电阻的磁场强度测量范围。

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 为本发明方法流程图。

图 2 为隧穿磁阻电阻的单畴行为的归一化星形曲线示意图。

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。

如图 1，本发明方法的步骤包括：

(1) 对于任一外加磁场，测量得到两个不同易轴方向的隧穿磁阻电阻 R_1 , R_2 ，同时将无磁场时的初始参考层磁化方向作为给定方向 φ_{R1} , φ_{R2} 。需要说明的是隧穿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。

若隧穿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。

隧穿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隧穿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 1 过程①, 计算公式为:

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

磁化方向, $R_{1\min}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的最小值, $R_{1\max}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的最大值。

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

磁化方向, $R_{2\min}$ 为第二个隧穿磁阻电阻的最小值, $R_{2\max}$ 为第二个隧穿磁阻电阻的最大值。

$R_{1\min}$ 、 $R_{1\max}$ 、 $R_{2\min}$ 及 $R_{2\max}$ 均可通过分别标定两个隧穿磁阻电阻得到。

(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 1 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隧穿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隧穿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 2 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 1 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，式中 α_1 ， α_2 分别为两个隧穿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 $1E-4$ ，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} ，如图示过程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} 。

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。

本发明还提供了一种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。

权 利 要 求 书

1、一种中大磁场测量方法，其特征在于，包括：

步骤 1：对于任意外加磁场，测量得到两个不同易轴方向的隧穿磁阻电阻的阻值 R_1 , R_2 ，同时将无磁场时两个隧穿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} ；

5 步骤 2：根据两个隧穿磁阻电阻的阻值分别计算两个隧穿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 3：分别根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层磁化方向 φ_{R1} , φ_{R2} 及两个隧穿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隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向；

10 步骤 4：根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层磁化方向、两个隧穿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 5：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隧穿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 2~步骤 5，直到两次结果的差值小于设定值。

2、根据权利要求 1 所述的一种中大磁场测量方法，其特征在于，步骤 2 中，计算两个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向和参考层磁化方向的夹角的公式分别为： $|\varphi_{F1} - \varphi_{R1}| = \arccos\left(\frac{R_{1\max} + R_{1\min} - 2R_1}{R_{1\max} - R_{1\min}}\right)$ ；其中 φ_{F1} 为第一个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向， $R_{1\min}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的最小值， $R_{1\max}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的最大值；

$|\varphi_{F2} - \varphi_{R2}| = \arccos\left(\frac{R_{2\max} + R_{2\min} - 2R_2}{R_{2\max} - R_{2\min}}\right)$ ；其中 φ_{F2} 为第二个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向， $R_{2\min}$ 为第二个隧穿磁阻电阻的最小值， $R_{2\max}$ 为第二个隧穿磁阻电阻的最大值。

25 3、根据权利要求 1 所述的一种中大磁场测量方法，其特征在于，步骤 3 中，

根据公式计算两个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向：

$$\varphi_F = \begin{cases} \varphi_R + |\varphi_F - \varphi_R|, & -\pi/2 < \varphi_F < \pi/2 \\ \varphi_R - |\varphi_F - \varphi_R|, & \pi/2 < \varphi_F < 3\pi/2 \end{cases}$$
，将 $|\varphi_F - \varphi_R|$ 、 φ_{R1} 带入前式便得到第一隧穿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隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向 φ_{F2} 。

- 5 4、根据权利要求1所述的一种中大磁场测量方法，其特征在于，步骤4中利用下列方程组求解外加磁场的磁场幅值 h_F 及方向 θ ：

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

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。

- 5、根据权利要求1所述的一种中大磁场测量方法，其特征在于，步骤5中，更新两个隧穿磁阻电阻的参考层磁化方向 φ_{R1} ， φ_{R2} 的步骤进一步包括：

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) 该解与磁阻电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： $h_{x2} = h_F \sin \theta$ ， $h_{y2} = h_F \cos \theta$ ； $x_2 = \sin \varphi_{R2}$ ；

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_{R2} 只有一个解，该解取决于 3 个条件：

1) x_2 为实数且 $|x_2| \leq 1$ ；

5 2) $h_{y2} \cos \varphi_{R2} + h_{x2} \sin \varphi_{R2} + \cos 2\varphi_{R2} \geq 0$ ；

3) 该解与磁阻电阻的初始位置间所有角度能量必须小于初始位置的能量；

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} 。

6、一种中大磁场测量系统，其特征在于，包括：

初始化模块，用于获取任意外加磁场中两个不同易轴方向的隧穿磁阻电阻
10 的阻值 R_1 ， R_2 ，同时将无磁场时两个隧穿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模块，用于根据两个隧穿磁阻电阻的阻值分别计算两个隧穿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模块，用于分别根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层
15 磁化方向 φ_{R1} ， φ_{R2} 及两个隧穿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隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向；

外加磁场计算模块，用于根据两个隧穿磁阻电阻的给定参考层磁化方向、两个隧穿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前一
20 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隧穿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模块、自由层磁化方向计算模块、外加磁场计算模块及精度判断模块，直到两次结果的差值小于设定值。

25 7、根据权利要求 6 所述的一种中大磁场测量系统，其特征在于，自由层及参考层夹角计算模块进一步用于，计算两个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向和

参考层磁化方向的夹角的公式分别为： $|\varphi_{F1} - \varphi_{R1}| = \arccos\left(\frac{R_{1\max} + R_{1\min} - 2R_1}{R_{1\max} - R_{1\min}}\right)$ ；其中
 φ_{F1} 为第一个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方向， $R_{1\min}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的
 最小值， $R_{1\max}$ 为第一个隧穿磁阻电阻的最大值；

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

5 磁化方向， $R_{2\min}$ 为第二个隧穿磁阻电阻的最小值， $R_{2\max}$ 为第二个隧穿磁阻电
 阻的最大值。

8、根据权利要求 6 所述的一种中大磁场测量系统，其特征在于，自由层磁
 化方向计算模块进一步用于，根据公式计算两个隧穿磁阻电阻的自由层磁化方
 向：

10 $\varphi_F = \begin{cases} \varphi_R + |\varphi_F - \varphi_R|, & -\pi/2 < \varphi_F < \pi/2 \\ \varphi_R - |\varphi_F - \varphi_R|, & \pi/2 < \varphi_F < 3\pi/2 \end{cases}$ ，将 $|\varphi_F - \varphi_R|$ 、 φ_{R1} 带入前式便得到第一隧穿
 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隧穿磁
 阻电阻的自由层磁化方向 φ_{F2} 。

9、根据权利要求 6 所述的一种中大磁场测量系统，其特征在于，外加磁场
 计算模块进一步用于，利用下列方程组求解外加磁场的磁场幅值 h_F 及方向 θ ：

15 $\begin{pmatrix} -\sin(\alpha_1 + \varphi_{F1}) & \cos(\alpha_1 + \varphi_{F1}) \\ -\sin(\alpha_2 + \varphi_{F2}) & \cos(\alpha_2 + \varphi_{F2}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_F \cos \theta \\ h_F \sin \theta \end{pmatrix} =$
 $\begin{pmatrix} h_{BF} \sin(\varphi_{F1} - \theta_{BF}) + \sin \varphi_{F1} \cos \varphi_{F1} - h_{JFR} \sin(\varphi_{F1} - \varphi_{R1}) \\ h_{BF} \sin(\varphi_{F2} - \theta_{BF}) + \sin \varphi_{F2} \cos \varphi_{F2} - h_{JFR} \sin(\varphi_{F2} - \varphi_{R2}) \end{pmatrix}$ ；式中 α_1, α_2 分别为两个隧穿

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。

10、根据权利要求 6 所述的一种中大磁场测量系统，其特征在于，精度判
 20 断模块进一步用于，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) $h_{Y1} \cos \varphi_{R1} + h_{X1} \sin \varphi_{R1} + \cos 2\varphi_{R1} \geq 0$;

5 3) 该解与磁阻电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，二者根据外加磁场计算模块的计算结果得到： $h_{X2} = h_F \sin \theta$ ， $h_{Y2} = h_F \cos \theta$ ； $x_2 = \sin \varphi_{R2}$ ；

10 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_{R2} 只有一个解，该解取决于 3 个条件：

1) x_2 为实数且 $|x_2| \leq 1$;

2) $h_{Y2} \cos \varphi_{R2} + h_{X2} \sin \varphi_{R2} + \cos 2\varphi_{R2} \geq 0$;

3) 该解与磁阻电阻的初始位置间所有角度能量必须小于初始位置的能量；
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} 。

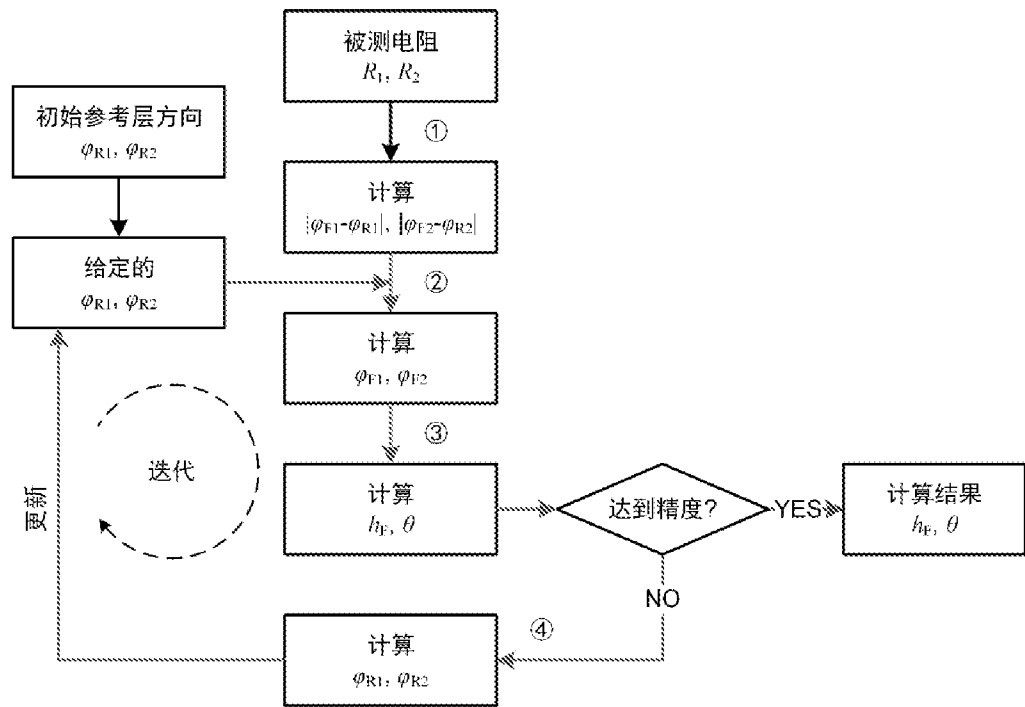


图 1

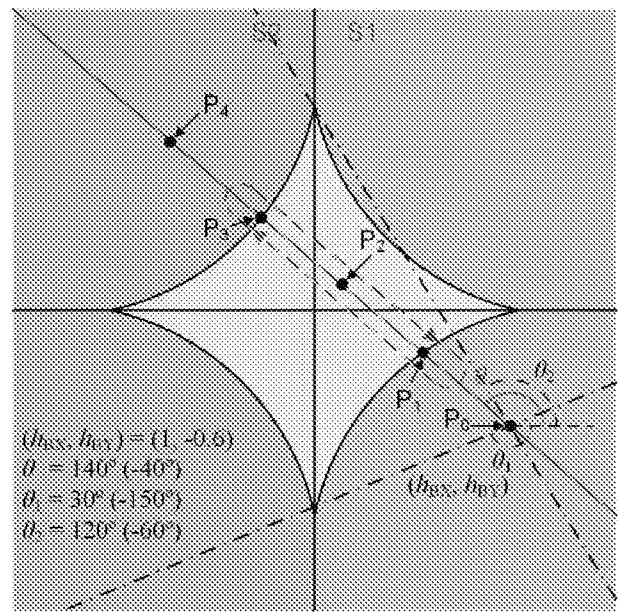


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/090546

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, 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, 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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 106772147 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.), 31 May 2017 (31.05.2017), description, paragraphs [0040]-[0073], and figures 1-7	1-10
A	CN 101044412 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE), 26 September 2007 (26.09.2007), description, pages 2-5, and figures 3-4	1-10
A	US 2014266185 A1 (SIDMAN, A.L.), 18 September 2014 (18.09.2014), entire document	1-10
A	CN 202351418 U (WEN, Jinshen), 25 July 2012 (25.07.2012), entire document	1-10
A	CN 104076302 A (INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE), 01 October 2014 (01.10.2014), entire document	1-10
A	CN 105093138 A (TDK CORPORATION), 25 November 2015 (25.11.2015), entire document	1-10
A	CN 102288927 A (QIAN, Zhenghong), 21 December 2011 (21.12.2011), entire document	1-10

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 23 September 2017	Date of mailing of the international search report 16 October 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LI, Xiaohui Telephone No. (86-10) 62085876

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/090546

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106772147 A	31 May 2017	None	
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
		IN 200700468 P3	03 August 2007
US 2014266185 A1	18 September 2014	US 9341684 B2	17 May 2016
		WO 2014158702 A1	02 October 2014
CN 202351418 U	25 July 2012	None	
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 105093138 A	25 November 2015	JP 2015219061 A	07 December 2015
		US 2015331072 A1	19 November 2015
CN 102288927 A	21 December 2011	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/090546

A. 主题的分类

G01R 33/09(2006.01)i

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

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01R

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

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))

CNABS, CNTXT, DWPI, SIPOABS, CNKI: 中大磁场, 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, 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

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 106772147 A (清华大学 等) 2017年 5月 31日 (2017 - 05 - 31) 说明书第[0040]-[0073]段, 附图1-7	1-10
A	CN 101044412 A (原子能源局) 2007年 9月 26日 (2007 - 09 - 26) 说明书第2-5页、附图3-4	1-10
A	US 2014266185 A1 (ALAN L. SIDMAN) 2014年 9月 18日 (2014 - 09 - 18) 全文	1-10
A	CN 202351418 U (翁锦深) 2012年 7月 25日 (2012 - 07 - 25) 全文	1-10
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	1-10
A	CN 105093138 A (TDK株式会社) 2015年 11月 25日 (2015 - 11 - 25) 全文	1-10
A	CN 102288927 A (钱正洪) 2011年 12月 21日 (2011 - 12 - 21) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 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

国际检索实际完成的日期

2017年 9月 23日

国际检索报告邮寄日期

2017年 10月 16日

ISA/CN的名称和邮寄地址

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

传真号 (86-10) 62019451

受权官员

李晓惠

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/CN2017/090546

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)
CN	106772147	A	2017年 5月 31日	无			
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
				IN	200700468	P3	2007年 8月 3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	202351418	U	2012年 7月 25日	无			
CN	104076302	A	2014年 10月 1日	US	2014292312	A1	2014年 10月 2日
				TW	I513993	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	105093138	A	2015年 11月 25日	JP	2015219061	A	2015年 12月 7日
				US	2015331072	A1	2015年 11月 19日
CN	102288927	A	2011年 12月 21日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)