



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111521961 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 05

(21) 申请号 202010516017.8

(22) 申请日 2020.06.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111521961 A

(43) 申请公布日 2020.08.11

(73) 专利权人 中北大学
地址 030051 山西省太原市学院路3号

(72) 发明人 郭浩 刘俊 唐军 李中豪
马宗敏 温焕飞 王琴琴 武亮伟

(74) 专利代理机构 太原科卫专利事务所(普通
合伙) 14100
代理人 朱源 武建云

(51) Int. Cl.
G01R 33/032 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 110525044 A, 2019.12.03
CN 109032888 A, 2018.12.18
US 2010150256 A1, 2010.06.17
CN 107247065 A, 2017.10.13
CN 108519564 A, 2018.09.11
CN 111163346 A, 2020.05.15
赵彬彬 等. 一种基于金刚石NV色心系综的
磁力计.《微纳电子技术》.2019, 第56卷(第3期),

第218-223页.

N.D.Lai et al..Optically detected magnetic resonance of a single Nitrogen-Vacancy electronic spin in diamond nanocrystals.《IEEE》.2009, 第1页.

王琴琴. 金刚石氮空位自旋结构单路三轴矢量磁传感器方法研究.《中国优秀博士学位论文全文数据库(硕士) 信息科技辑》.2021, (第9期), 第1140-1177-正文第2-3章.

张卫东 等. 基于金刚石NV色心磁传感器微波调制频率优化的高灵敏度磁传感方法.《微纳电子技术》.2020, 第57卷(第3期), 第204-208、215页.

Qin-Qin Wang et al..Single-channel vector magnetic information detection method based on diamond NV color center.《Chinese Physics B》.2021, 第30卷(第8期),

(续)

审查员 古鑫婷

权利要求书1页 说明书4页 附图1页

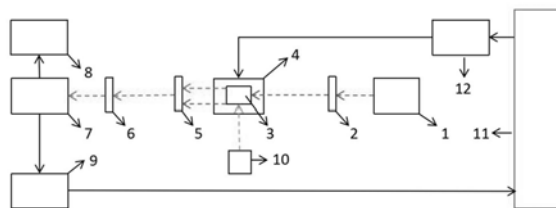
(54) 发明名称

基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测方法
及系统

(57) 摘要

本发明公开一种基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测方法及系统,在激光与微波扫频信号的作用下,金刚石NV色心产生荧光,并通过光电探测器采集到光信号转换为电信号,在示波器上观察到金刚石NV色心的ODMR谱,再通过调整金刚石附近磁铁的位置,得到产生四对峰值的ODMR谱,通过PC机对微波控制模块进行分频调控,产生等频率差等时序输出的单侧ODMR的四路微波频率信号,由数据采集软件采集并记录为初

始值,改变外部磁场的大小,重复数据采集步骤,将采集到的新的数据与初始值进行比较,进行电磁信息转换与三轴磁信息解算,最终由PC机输出最后的磁场变化结果。本发明检测方法简便,节约了大型实验设备与空间,提高了实验效率。



CN 111521961 B

[接上页]

(56) 对比文件

Jennifer M. Schloss et al..Simultaneous Broadband Vector Magnetometry Using Solid-State Spins.《PHYSICAL REVIEW APPLIED 10》.2018,
Binbin Zhao et al..High-Sensitivity Three-Axis Vector Magnetometry Using Electron Spin Ensembles in Single-Crystal

Diamond.《Magnetic Instruments》.2019,
胡欣 等.金刚石中氮空位中心在外加磁场下的电子自旋磁共振.《量子光学学报》.2012,第18卷(第4期),第382-388页.
S.J.Seltzer et al..Unshielded three-axis vector operation of a spin-exchange-relaxation-free atomic magnetometer.《APPLIED PHYSICS LETTERS》.2004,第85卷(第20期),第4803-4805页.

1. 一种基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测系统,其特征在于:包括位于光探测磁共振光路上的激光器(1)、凸透镜(2)、带有NV色心的金刚石(3)、滤光片(5)、凸透镜(6)以及光电探测器(7),所述激光器(1)入射激光到凸透镜(2)后把激光聚焦在金刚石(3)上,所述金刚石(3)的NV色心产生荧光信号透过滤光片(5),再经过凸透镜(6)聚焦后被光电探测器(7)收集;

所述金刚石(3)下方固定有微波天线(4),所述微波天线(4)由位于PC机(11)上的微波控制模块(12)控制,所述微波控制模块(12)实现微波扫频范围为20MHz~5.4GHz以及等时序等频率差输出金刚石NV色心系宗四个轴向ODMR谱频率信息;

所述光电探测器(7)的第一输出端连接示波器(8),所述光电探测器(7)的第二输出端与位于PC机(11)上的数据采集软件(9)连接;所述数据采集软件(9)实现单通道四路ODMR信号的采集功能,并与初始值进行数据对比计算,进行电磁信息解算以及三轴磁信息解算,最后输出磁场检测结果;

所述金刚石(3)旁边设有磁铁(10)。

2. 一种基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测方法,其特征在于:包括如下步骤:

步骤一、搭建权利要求1所述的基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测系统;

步骤二、以532nm的激光器(1)为光源,入射到凸透镜(2)后把激光聚焦在金刚石(3)上,初始化NV色心的自旋状态;

步骤三、开启PC机(11),通过上位机软件控制微波控制模块(12)产生微波扫频范围为2.7~3.1GHz的扫频信号;

步骤四、在激光信号与在微波扫频信号的作用下,金刚石(3)的NV色心产生荧光信号,该荧光信号透过滤光片(5),再经过凸透镜(6)聚焦后被光电探测器(7)收集,将光信号转换为电信号,并在示波器(8)上观察到金刚石NV色心的ODMR谱;

步骤五、调整磁铁(10)的位置,使金刚石NV色心的ODMR谱观察到四对峰值;

步骤六、使用PC机(11)的微波控制模块(12)控制微波源产生调频信号,对金刚石NV色心的ODMR谱的四对峰值信号进行分频调制,控制其单侧四路信号的频率差相等,确定其四路频率为初始值,并通过光电探测器(7)采集,等时序依次输出该四路信号,显示在示波器(8)上;

步骤七、通过调整磁铁(10)的位置,改变系统外部磁场的大小,金刚石NV色心的ODMR谱的峰值频率发生变化,其四路峰值频率与初始值的差值代表了NV色心四个轴向上的外部磁场的变化量,通过NV色心四个轴向与三轴磁场的转换关系,得到外部磁场的变化量的大小与方向;

步骤八、将光电探测器(7)采集到信号传输到PC机(11)上数据采集软件(9),经过电磁转换、三轴磁信息解算,最终得到外部磁场的变化量,达到检测三轴磁场的目的。

基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于量子传感技术领域,具体为一种基于金刚石NV色心磁场检测技术来实现对单路三轴磁场信息的检测。

背景技术

[0002] 随着现代科学技术的发展,弱磁场测量技术在许多诸如生物医学、军事工程、资源勘测和空间探测等重要领域中占有不可或缺的地位。如生物医学中的核磁共振技术、军事舰艇中的消磁、探潜、鱼雷制导及卫星测距、航磁、地磁测量,使用的都是弱磁测量仪器,高精度的弱磁测仪器是资源勘查的主要设备。且弱磁检测技术是当今高新技术的一个热点,研制高性能、小型化、低功耗、低成本的弱磁测量传感器,对我国国防建设等领域的发展具有重要意义。

[0003] 近年来,基于金刚石NV色心的弱磁测量技术受到了越来越多的关注,与传统的磁测量技术相比,它具有体积小,相干时间长,且温度工作区间的范围广的特点。金刚石NV色心是由一个氮原子取代金刚石中的碳原子,并且在临近位有一个空穴所形成的一个点缺陷,且由于金刚石的面心立方结构,金刚石NV色心可能有四个不同的轴向。基于单个NV色心在外加磁场下的塞曼分裂,再根据NV色心的基态哈密顿量本证方程,可以得到在任意磁场下的ODMR峰值的位置,从而推算出该NV色心轴向上外磁场的标量。

[0004] 在NV系宗中,不同轴向的NV色心都能够测量出对应的ODMR谱,从而得到金刚石NV色心四个轴向上所对应的磁场标量信息。通过空间三维坐标系,可以推算出金刚石NV色心四个轴向与磁场三维矢量的转换关系,进而可以得到金刚石NV色心所测磁场的矢量信息。

[0005] 基于目前使用金刚石NV色心检测矢量磁场的方法,在数据分析处理时需要将金刚石NV色心的四个轴向的四路ODMR信号分别进行观察以及数据处理,过程操作较为繁复,因此本发明设计了一种单路信号输出金刚石NV色心的四个轴向信号的方法,并直接对实验结果进行了三轴矢量磁信息解算,得到最终的磁场矢量结果,简化了实验步骤,节省了实验仪器,提高了实验效率。

发明内容

[0006] 本发明针对现有金刚石NV色心三轴磁场检测方法存在的不足,提出一种单路三轴磁场信息检测的方法,将金刚石NV色心的四个轴向的ODMR信号频率信息通过单路信号输出,并完成三轴磁信息解算。

[0007] 本发明是采用如下技术方案实现的:

[0008] 一种基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测系统,包括位于光探测磁共振光路上的激光器、凸透镜、带有NV色心的金刚石、滤光片、凸透镜以及光电探测器,所述激光器入射激光到凸透镜后把激光聚焦在金刚石上,所述金刚石的NV色心产生荧光信号通过滤光片,再经过凸透镜聚焦后被光电探测器收集。

[0009] 所述金刚石下方固定有微波天线,所述微波天线由位于PC机上的微波控制模块控

制,所述微波控制模块实现微波扫频范围为20MHz~5.4GHz以及等时序等频率差输出金刚石NV色心系中四个轴向ODMR谱频率信息。

[0010] 所述光电探测器的第一输出端连接示波器,所述光电探测器的第二输出端与位于PC机上的数据采集软件连接;所述数据采集软件实现单通道四路ODMR谱信号的采集功能,并与初始值进行数据对比计算,进行电磁信息解算以及三轴磁信息解算,最后输出磁场检测结果。

[0011] 所述金刚石旁边设有磁铁。

[0012] 应用于上述系统的基于金刚石NV色心的单路三轴磁场信息检测的方法,包括以下步骤:

[0013] (1)、搭建基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测系统,将带有NV色心的金刚石置于系统中央,微波天线固定于金刚石下方,调整激光器、凸透镜、滤光片以及光电探测器的位置,完成光探测磁共振光路;

[0014] (2)、以532nm的激光器为光源,入射到凸透镜后把激光聚焦在金刚石上,初始化NV色心的自旋状态;

[0015] (3)、开启PC机,通过微波控制模块产生微波扫频范围为2.7~3.1GHz的扫频信号;

[0016] (4)、在激光信号与在微波扫频信号的作用下,金刚石的NV色心会产生荧光信号,该荧光信号透过滤光片,再经过凸透镜聚焦后被光电探测器收集,将光信号转换为电信号,并在示波器上观察到金刚石NV色心的ODMR谱;

[0017] (5)、调整磁铁的位置,可以观察到金刚石NV色心ODMR谱的明显变化,可以使金刚石NV色心的ODMR谱观察到四对峰值;

[0018] (6)、使用PC机的微波控制模块控制微波源产生调频信号,对金刚石NV色心的ODMR谱的四对峰值信号进行分频调制,控制其单侧四路信号的频率差相等,确定其四路频率为初始值,并通过光电探测器采集,等时序依次输出该四路信号,显示在示波器上;

[0019] (7)、改变系统外部磁场的大小,金刚石NV色心的ODMR谱的峰值频率会发生变化,其四路峰值频率的与初始值的差值代表了NV色心四个轴向上的外部磁场的变化量,通过NV色心四个轴向与三轴磁场的转换关系,可以得到外部磁场的变化量的大小与方向;

[0020] (8)、通过PC机控制数据采集模块,将光电探测器采集到信号采集到PC机的数据采集软件中,并经过电磁转换、三轴磁信息解算,最终得到外部磁场的变化量,达到检测三轴磁场的目的。

[0021] 本发明所述基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测方法,利用金刚石NV色心在外加磁场下会发生塞曼分裂的特性进而检测外部磁场的大小;核心在于,利用微波控制模块,将金刚石NV色心的四个轴向的ODMR信号频率信息通过单路信号等时序等频率差输出,并通过数据采集模块完成三轴磁信息解算,完成NV色心对外部磁场的检测。

[0022] 本领域技术人员可以通过设计微波控制电路实现微波源的扫频控制与金刚石NV色心ODMR谱初始值频率的控制;本领域技术人员可以使用USB-DAQ-9608i AD数据采集板设计数据采集软件,实现单通道四路ODMR谱信号的采集功能以及三轴磁信息解算功能。

[0023] 本发明设计合理,利用金刚石中NV色心ODMR检测技术来检测磁场,通过设计微波控制模块与数据采集软件,实现了单通道采集四路ODMR谱的频率信号,并将采集到的信号进行电磁转换与三轴磁信息解算,节省了大型的实验设备与人工数据处理的工程,使整个

实验过程小型化,提高了实验效率。

附图说明

[0024] 图1表示单路三轴磁信息检测系统示意图。

[0025] 图2表示单路三轴磁信息检测的工作流程。

[0026] 图中:1-激光器,2-凸透镜,3-带有NV色心的金刚石,4-微波天线,5-滤光片,6-凸透镜,7-光电探测器,8-示波器,9-数据采集软件,10-磁铁,11-PC机,12-微波控制模块。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图对本发明的具体实施例进行详细说明。

[0028] 如图1所示,一种基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测系统,包括位于光探测磁共振光路上的激光器1、凸透镜2、带有NV色心的金刚石3、滤光片5、凸透镜6以及光电探测器7,激光器1入射激光到凸透镜2后把激光聚焦在金刚石3上,金刚石3的NV色心产生荧光信号透过滤光片5,再经过凸透镜6聚焦后被光电探测器7收集。金刚石3旁边设有磁铁10。

[0029] 金刚石3下方固定有微波天线4,微波天线4由位于PC机11上的微波控制模块12控制,微波控制模块12实现微波扫频范围为20MHz~5.4GHz以及等时序等频率差输出金刚石NV色心系中四个轴向ODMR谱频率信息。

[0030] 具体为,微波控制模块中设计了微波源模块、微波扫频控制电路、等时序分频控制电路以及其相应的上位机控制软件,可实现微波扫频范围为20MHz~5.4GHz,最后完成微波扫频以及等时序等频率差输出金刚石NV色心系宗四个轴向ODMR谱频率信息的功能。

[0031] 光电探测器7的第一输出端连接示波器8,光电探测器7的第二输出端与位于PC机11上的数据采集模块9连接;数据采集模块9实现单通道四路ODMR谱信号的采集功能,并与初始值进行数据对比计算,进行电磁信息解算以及三轴磁信息解算,最后输出磁场检测结果。

[0032] 具体为,可以使用USB-DAQ-9608i AD数据采集板设计数据采集软件,其中包括数据采集模块、电磁转换模块、三轴磁信息解算模块;实现单通道四路ODMR谱信号的采集功能,并与初始值进行数据对比计算,进行电磁信息解算以及三轴磁信息解算,最后输出磁场检测结果。

[0033] 一种基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测方法,在激光与PC机控制的微波扫频信号的作用下,金刚石NV色心产生荧光,并通过光电探测器采集到光信号转换为电信号,在示波器上可以观察到金刚石NV色心的ODMR谱;通过调整金刚石附近磁铁的位置,可以得到产生四对峰值的ODMR谱;通过PC机对微波控制模块进行分频调控,可产生等频率差等时序输出的单侧的四路微波频率信号,由数据采集软件采集并记录为初始值;改变外部磁场的大小,重复数据采集步骤,将采集到的新的数据与初始值进行比较,进行电磁信息转换与三轴磁信息解算,最终由PC机输出最后的磁场变化结果。

[0034] 如图2所示,具体步骤如下:

[0035] (1)、搭建基于金刚石NV色心的单路三轴磁信息检测系统,将带有NV色心的金刚石3置于系统中央,微波天线4固定于金刚石3下方,调整激光器1、凸透镜2、滤光片5、凸透镜6以及光电探测器7的位置,完成光探测磁共振光路;

[0036] (2)、以532nm的激光器1为光源,入射到凸透镜2后把激光聚焦在金刚石上3,初始化NV色心的自旋状态;

[0037] (3)、开启PC机11,通过微波控制模块12中的上位机软件控制微波源模块产生微波扫频范围为2.7~3.1GHz的扫频信号;

[0038] (4)、在激光信号与在微波扫频信号的作用下,金刚石NV色心会产生荧光信号,该荧光信号透过滤光片5,再经过凸透镜6聚焦后被光电探测器7收集,将光信号转换为电信号,并在示波器8上可观察到金刚石NV色心的ODMR谱;

[0039] (5)、调整磁铁10的位置,可以观察到金刚石NV色心ODMR谱的明显变化,即可以使金刚石NV色心的ODMR谱观察到四对峰值;

[0040] (6)、使用PC机11的微波控制模块12,通过上位机控制软件控制微波扫频控制电路、等时序分频控制电路,控制微波源产生调频信号,对金刚石NV色心的ODMR谱的四对峰值信号进行分频调制,控制其单侧四路信号的频率差相等,确定其四路频率为初始值,并通过光电探测器7采集,等时序依次输出该四路信号,显示在示波器8上;

[0041] (7)、调整磁铁10的位置,改变系统外部磁场的大小,金刚石NV色心的ODMR谱的峰值频率会发生变化,其四路峰值频率的与初始值的差值代表了NV色心四个轴向上的外部磁场的变化量,通过NV色心四个轴向与三轴磁场的转换关系,可以得到外部磁场的变化量的大小与方向;

[0042] (8)、通过PC机11控制数据采集软件9,将光电探测器7采集到信号通过数据采集软件9传输到PC机11中,并经过电磁转换、三轴磁信息解算,最终得到外部磁场的变化量,达到检测三轴磁场的目的。

[0043] 本发明的检测方法简便,节约了大型实验设备与空间,提高了实验效率。

[0044] 以上仅为本发明的具体实施例,但并不局限于此。任何以本发明为基础解决基本相同的技术问题,或实现基本相同的技术效果,所作出地简单变化、等同替换或者修饰等,均属于本发明的保护范围内。

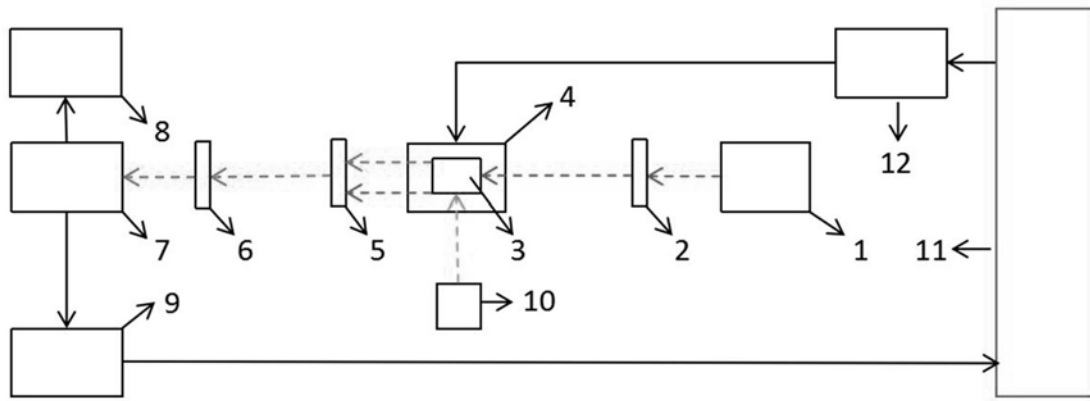


图1

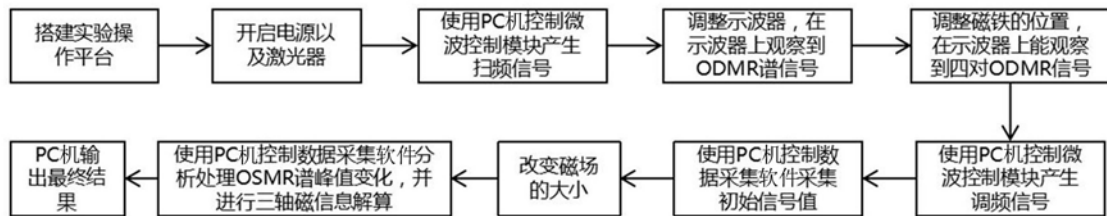


图2