



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114114098 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 29

(21) 申请号 202111344277.2

(22) 申请日 2021.11.15

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114114098 A

(43) 申请公布日 2022.03.01

(73) 专利权人 东南大学
地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学路2号

(72) 发明人 陈洁 颜子尧 张中锦 单婉婷
黄旭庭

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所
(普通合伙) 32249

专利代理师 任志艳

(51) Int. Cl.

G01R 33/06 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 204495981 U, 2015.07.22
- US 2018351479 A1, 2018.12.06
- CN 109244132 A, 2019.01.18
- CN 108039406 A, 2018.05.15
- US 2016005949 A1, 2016.01.07
- US 2012098530 A1, 2012.04.26
- CN 108037472 A, 2018.05.15
- WO 2005013376 A1, 2005.02.10
- CN 109148692 A, 2019.01.04
- US 2009296258 A1, 2009.12.03
- CN 110729396 A, 2020.01.24
- US 2012038355 A1, 2012.02.16
- WO 2014138376 A1, 2014.09.12

审查员 陈文青

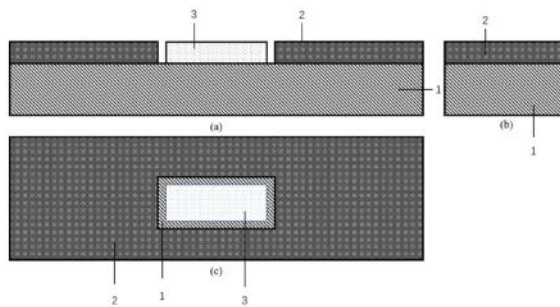
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于压电电子学的MEMS磁传感器及测量磁场方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于压电电子学的MEMS磁传感器及测量磁场方法,磁场传感器包括衬底n-GaN、磁致伸缩层FeCoB和电极Pt。在磁场作用下,由于磁致伸缩效应,磁致伸缩层将会对压电衬底施加应力,应力导致GaN晶体中会产生压电势。晶体内压电势将作为栅极电压来调节内建电势,即电荷传输行为,即肖特基结的高度和宽度被调制,从而调制载流子运输,I-V曲线发生相应的变化。由I-V曲线的变化即可得到相应的磁场信息。该磁场传感器结构简单,灵敏度高。



1. 一种基于压电电子学的MEMS磁传感器测量磁场的方法,其特征在于,包括衬底(1)、磁致伸缩层(2)和电极层(3),电极层(3)和磁致伸缩层(2)均生长在衬底(1)上,且磁致伸缩层(2)位于电极层(3)的周围;所述衬底(1)为具有半导体特性及压电效应的材料,电极层(3)与衬底(1)形成整流接触即肖特基二极管;

所述测量磁场的方法包括如下步骤:

步骤1,将MEMS磁场传感器置于磁场中,磁场方向沿磁致伸缩层(2)的长度方向;

步骤2,在外电场的作用下,磁致伸缩层(2)沿长度方向拉伸,磁致伸缩层(2)对具有半导体特性及压电效应的衬底(1)施加应力,衬底(1)应变在线性区域内变化,选择压电材料的线性本构方程;

衬底(1)的线性本构方程通过应变电荷的形式写入,表示为:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + S_E (S - S_0) + d^T E$$

$$D = D_r + d (S - S_0) + \xi E$$

电势有以下约束:

$$\mathbf{E} = -\nabla V_0$$

其中 ε , ε_0 , S , S_0 分别表示应变张量、初始应变、应力张量和初始应力, S_E 和 d 表示柔度矩阵和压电系数矩阵, E 和 D 为感应电场和电位移矩阵, D_r 表示剩余电位移, ξ 表示介电常数矩阵, V_0 为电势;

步骤3,将衬底(1)接正电势,电极层(3)接地,电极层-衬底形成肖特基结,此时等效于肖特基结正偏,在磁场作用下,等效于对所述磁场传感器施加正向偏压;由肖特基的扩散理论

$$J_n \approx J_D \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bp}}{kt}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kt}\right) - 1\right]$$

其中, Φ_{Bp} 为未施加电压时的内建势垒高度, q 为电子电荷, k 为玻尔兹曼常数, t 为温度, V 为等效外接电势, J_D 近似看作只与材料本身属性有关的常量;

V 满足下式

$$V = V' - V_0$$

V' 为外加电势, V_0 是由本构方程得到的电压降;

步骤4,衬底(1)与磁致伸缩层(2)之间的动态平衡写成平衡方程:

$$\rho_i \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \nabla S_i \quad (i=m, p)$$

下标 i 表示的不同的材料,当 $i=m$ 时,是指磁致伸缩层(2);当 $i=p$ 时,是指衬底(1); ρ 是密度, u 是主位移矢量, S 是应力张量;

结合平衡方程以及本构方程知在磁场作用下可使衬底(1)产生压电势 V_0 ,晶体内压电势将作为栅极电压来调节电荷传输行为,即肖特基结的高度和宽度被调制,从而调制载流子运输, I - V 曲线发生相应的变化,由 I - V 曲线的变化即可得到相应的磁场信息。

2. 根据权利要求1所述一种基于压电电子学的MEMS磁传感器测量磁场的方法,其特征在于,衬底(1)的材料为n-GaN,磁致伸缩层(2)的材料为FeCoB,电极层(3)的材料为Pt。

一种基于压电电子学的MEMS磁传感器及测量磁场方法

技术领域

[0001] 本发明属于传感器技术领域,尤其是一种MEMS磁场传感器及其测量磁场方法。

背景技术

[0002] 磁和电是自然界中广泛存在的两类信号,如何获取和处理磁信号和电信号中的信息一直是科学技术研究工作的重点,磁电转换装置在各个领域中广泛采用,如计算机中利用磁盘/磁带驱动器上的磁传感器存储数据、手机上通过对地磁场探测来进行GPS定位、医疗上脑磁的精确测定等。磁电材料是一种具有磁电效应的功能材料,磁电效应是指在外加磁场作用下产生电极化或在外加电场作用下诱导磁化的现象。这种磁电转换功能在传感技术、信息技术、自动化技术、能源技术等领域有着巨大的应用潜力。

[0003] 微电子机械系统(micro electro-mechanical system, MEMS)是由机械、电子以及其它一些功能器件集成在单芯片或多芯片上构成的微型系统。广义上讲, MEMS是集微机械、微传感器、信号处理、微执行器、智能控制以及电源于一体的微机电系统,涉及电子、力学、热学、生物、磁学、光学、信息和化学等多种学科领域。MEMS器件具有体积小、重量轻、耗能低、性能稳定等许多优势,在民用和军事领域都有着很广泛的应用。

发明内容

[0004] 技术问题:本发明所要解决的技术问题是:提供一种基于压电电子学的MEMS磁传感器及测量磁场方法,该磁场传感器工艺简单。

[0005] 本发明的一种基于压电电子学的MEMS磁传感器,其特征在于,包括衬底、磁致伸缩层和电极层,电极层和磁致伸缩层均生长在衬底上,且磁致伸缩层位于电极层的周围;所述衬底为具有半导体特性及压电效应的材料,电极层与衬底形成整流接触即肖特基二极管。

[0006] 进一步的,衬底的材料为n-GaN,磁致伸缩层的材料为FeCoB,电极层的材料为Pt。

[0007] 进一步的,电极层与衬底形成整流接触即肖特基二极管。

[0008] 在磁场作用下,由于磁致伸缩效应,磁致伸缩层将会对压电衬底施加应力,应力导致GaN晶体中会产生压电势。晶体内压电势将作为栅极电压来调节电荷传输行为,即肖特基结的高度和宽度被调制,从而调制载流子运输,I-V曲线发生相应的变化。由I-V曲线的变化即可得到相应的磁场信息。该磁场传感器结构简单,灵敏度高。

[0009] 一种基于压电电子学的MEMS磁传感器测量磁场的方法,包括如下步骤:

[0010] 步骤1,将MEMS磁场传感器置于磁场中,磁场方向沿磁致伸缩层的长度方向;

[0011] 步骤2,在外电场的作用下,磁致伸缩层沿长度方向拉伸,磁致伸缩层对具有半导体特性及压电效应的衬底施加应力,衬底应变在线性区域内变化,选择压电材料的线性本构方程;

[0012] 衬底的线性本构方程通过应变电荷的形式写入,表示为:

[0013] $\epsilon = \epsilon_0 + S_E (S - S_0) + d^T E$

$$[0014] \quad D = D_r + d(S - S_0) + \xi E$$

[0015] 电势有以下约束:

$$[0016] \quad \mathbf{E} = -\nabla V_0$$

[0017] 其中 $\epsilon, \epsilon_0, S, S_0$ 分别表示应变张量、初始应变、应力张量和初始应力, S_p 和 d 表示柔度矩阵和压电系数矩阵, E 和 D 为感应电场和电位移矩阵, D_r 表示剩余电位移, ξ 表示介电常数矩阵, V_0 为电势;

[0018] 步骤3, 将衬底接正电势, 电极层接地, 电极层-衬底形成肖特基结, 此时等效于肖特基结正偏, 在磁场作用下, 等效于对所述磁性传感器施加正向偏压; 由肖特基的扩散理论

$$[0019] \quad J_n \approx J_D \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bp}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1\right]$$

[0020] 其中, Φ_{Bp} 为未施加电压时的内建势垒高度, q 为电子电荷, k 为玻尔兹曼常数, t 为温度, V 为等效外接电势, J_D 近似看作只与材料本身属性有关的常量;

[0021] V 满足下式

$$[0022] \quad V = V' - V_0$$

[0023] V' 为外加电势, V_0 是由本构方程得到的电压降;

[0024] 步骤4, 衬底与磁致伸缩层之间的动态平衡写成平衡方程:

$$[0025] \quad \rho_i \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \nabla S_i \quad (i=m, p)$$

[0026] 下标 i 表示的不同的材料, 当 $i=m$ 时, 是指磁致伸缩层; 当 $i=p$ 时, 是指衬底; ρ 是密度, u 是主位移矢量, S 是应力张量;

[0027] 结合平衡方程以及本构方程知在磁场作用下可使衬底产生压电势 V_0 , 晶体内压电势将作为栅极电压来调节电荷传输行为, 即肖特基结的高度和宽度被调制, 从而调制载流子运输, $I-V$ 曲线发生相应的变化, 由 $I-V$ 曲线的变化即可得到相应的磁场信息。

[0028] 有益效果: 与现有技术相比, 本发明具有以下有益效果:

[0029] 1. 结构简单。本发明的MEMS磁场传感器, 仅需要简单的工艺得到肖特基二极管结构以及磁致伸缩/压电复合结构, 利用磁致伸缩效应和压电电子学, 将磁信号转化为电信号, 从而可以实现磁场大小的测量。

[0030] 2. 在磁场幅值较低的情况下, 弱磁场与输出信号呈现较好的线性度。

附图说明

[0031] 图1是本发明实施例的结构示意图。

[0032] 图1(a)是本发明磁传感器的结构剖面图。

[0033] 图1(b)是本发明磁传感器的结构侧视图。

[0034] 图1(c)是本发明磁传感器的结构俯视图。

[0035] 图2是本发明磁传感器在固定电压下, 相对电流密度与磁场的关系图。

[0036] 其中: 1、衬底; 2、磁致伸缩层; 3、电极层。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图,对本发明的技术方案进行详细的说明。

[0038] 如图1所示,本发明的一种基于压电电子学的MEMS磁传感器包括衬底1、磁致伸缩层2和电极层3,电极层3和磁致伸缩层2均生长在衬底1上,且磁致伸缩层2位于电极层3的周围,电极层3与磁致伸缩层2的厚度相同,且电极层3与磁致伸缩层2之间存在间隙,其中,图1(a)是本发明磁传感器的结构剖面图,图1(b)是本发明磁传感器的结构侧视图,图1(c)是本发明磁传感器的结构俯视图。

[0039] 衬底1为同时具有半导体特性及压电效应的材料包括但不限于n-GaN,磁致伸缩层2材料包括但不限于FeCoB,电极层3材料包括但不限于Pt。

[0040] 将本发明的本发明的一种基于压电电子学的MEMS磁传感器置于磁场中,在磁场作用下,由于磁致伸缩效应,磁致伸缩层2将会对压电衬底1施加应力,应力导致GaN晶体中会产生压电势。晶体内压电势将作为内建电压来调节电荷传输行为,即肖特基结的高度和宽度被调制,从而调制载流子运输,I-V曲线发生相应的变化。由I-V曲线的变化即可得到相应的磁场信息。

[0041] 利用磁电效应,将磁信号转化为电信号。磁电效应是指在外加磁场作用下产生电极化或在外加电场作用下诱导磁化的现象。在外磁场的作用下,磁电层即磁致伸缩层FeCoB以及压电层GaN经历了磁-机-电的转化。

[0042] 平衡方程:

[0043] 已知本发明衬底1与磁致伸缩层2之间的动态平衡可以写成平衡方程:

$$[0044] \quad \rho_i \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \nabla S_i \quad (i=m, p)$$

[0045] 下标i表示的不同的材料,i=m是磁致伸缩层,i=p是GaN压电层; ρ 是密度,u是主位移矢量,S是应力张量。

[0046] 1.本构方程

[0047] 对于磁致伸缩层2,磁致伸缩材料发生形变,但其材料体积不发生变化,研究中采用了沿长度方向磁化的磁致伸缩材料,同时沿长度方向施加磁场,故该磁致伸缩材料主应变为长度方向,发生长度方向上拉伸,而沿厚度方向上变形则较小,因此研究中假设材料沿长度上发生拉伸变形,忽略磁致伸缩层2沿厚度方向上变形的影响.相应的应力应变满足关系式:

$$[0048] \quad S - S_0 = C \cdot (\varepsilon - \varepsilon_0),$$

$$[0049] \quad C = C(E, \nu)$$

$$[0050] \quad \varepsilon = \frac{1}{2} [(\nabla u)^T + \nabla u]$$

[0051] 其中T代表变换,C为刚度矩阵,S表示应力张量,S0表示初始应力, ε_0 表示初始应变, ε 表示应变张量。

[0052] 对于具有压电效应的衬底1,压电材料本构关系采用应变电荷型.因为压电层变化由磁致伸缩层2的应变驱动,外加磁场使磁致伸缩层发生应变,然后传递给具有压电效应的衬底1,压电材料极化沿z轴,X-Y平面各向同性,介电常数矩阵只取对角项.衬底层发生的形变小,其应变依然在线性区域内变化,因此选择压电材料的线性本构方程.具有压

电效应的衬底1的线性本构方程通过应变电荷的形式写入,表示为:

$$[0053] \quad \varepsilon = \varepsilon_0 + S_E (S - S_0) + d^T E$$

$$[0054] \quad D = D_r + d (S - S_0) + \xi E$$

[0055] 电势有以下约束:

$$[0056] \quad \mathbf{E} = -\nabla V_0$$

[0057] 其中 $\varepsilon, \varepsilon_0, S, S_0$ 分别表示应变张量、初始应变、应力张量和初始应力, S_E 和 d 表示柔度矩阵和压电系数矩阵, E 和 D 为感应电场和电位移矩阵, D_r 表示剩余电位移, ξ 表示介电常数矩阵, V_0 为电势。

[0058] 2. 金-半接触中的压电效应

[0059] 将GaN衬底接正电势, Pt接地, Pt-GaN形成肖特基结。此时可等效于肖特基结正偏。在磁场作用下, 等效于对本发明的磁性传感器施加正向偏压。由肖特基的扩散理论

$$[0060] \quad J_n \approx J_D \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bp}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1\right]$$

[0061] Φ_{Bp} 为未施加电压时的内建势垒高度, q 为电子电荷, k 为玻尔兹曼常数, t 为温度, V 为等效外接电势, J_D 可近似看作一个只与材料本身属性有关的常量。

[0062] V 满足下式

$$[0063] \quad V = V' - V_0$$

[0064] V' 为外加电势, V_0 是由本构方程得到的电压降。

[0065] 结合上式意味着通过金半结的电流是局部压电电荷的指数函数。因此, 不仅可以通过应变的大小, 即磁场的大小控制电流大小。对应的, 可利用电流大小表征磁场大小。具体来说综合平衡方程以及本构方程知在磁场作用下可使GaN产生压电势 V_0 , 晶体内压电势将作为栅极电压来调节电荷传输行为, 即肖特基结的高度和宽度被调制, 从而调制载流子运输, I-V曲线发生相应的变化。由I-V曲线的变化即可得到相应的磁场信息。如图2所示。

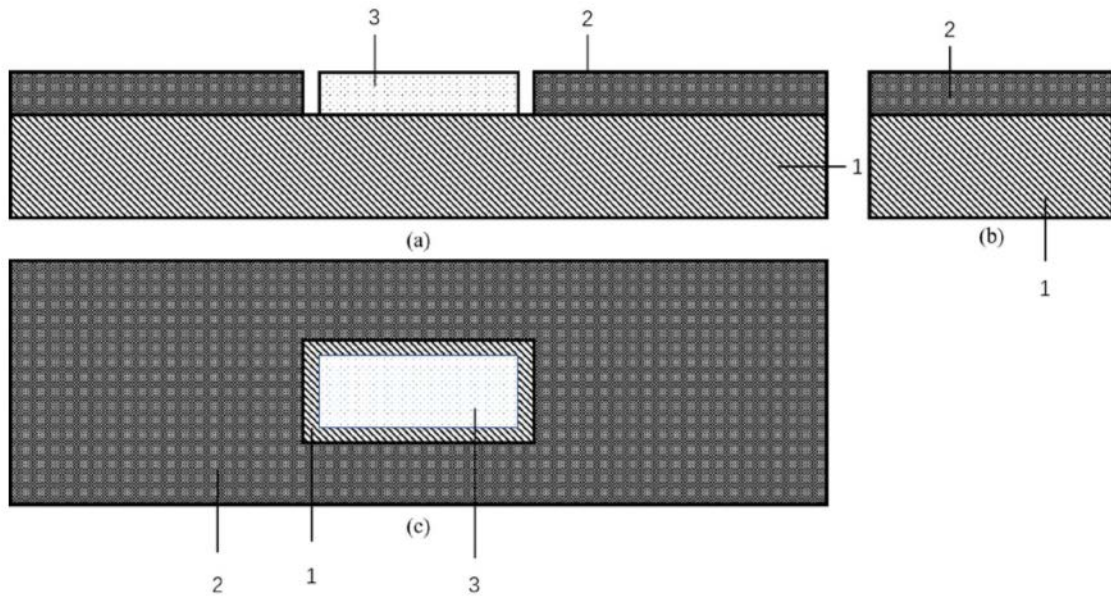


图1

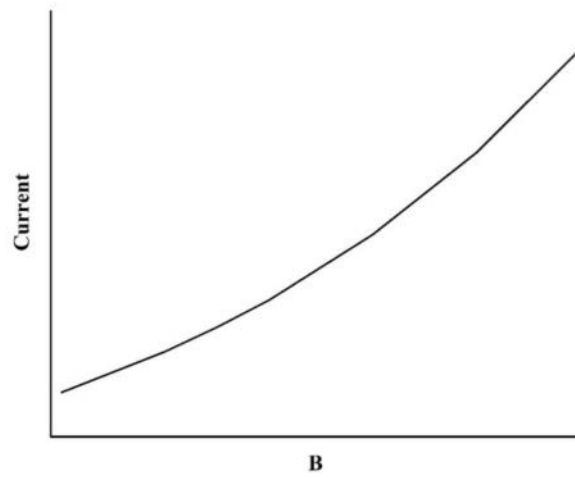


图2