应用札记
ANC202603001

磁传感器技术综述

通信作者：成红玉

圣邦微电子（北京）股份有限公司

2026 年 3 月 26 日

商标

SGMICRO 是圣邦微电子（北京）股份有限公司的商标。本文档中的所有商标均为其各自所有者的财产。

© 2026 圣邦微电子（北京）股份有限公司 版权所有。

未经 SGMICRO 事先书面许可，任何单位或个人不得摘抄、复制或改编本文档的部分或全部内容。欲了解更多关于 SGMICRO 的信息，请访问网站 www.sg-micro.com。

摘要

从冰箱门报警器到汽车转速测量，从手机自动旋转屏幕到电子罗盘，磁传感器已深度融入现代生活。其技术体系覆盖了从实现“有无”判断的开关器件，到精确测量“强弱与方向”的线性传感器，以及集成信号处理功能的智能芯片等不同形态。本文将系统梳理磁传感器的主要技术类别与原理，旨在阐明不同技术路径的性能特征及其适用场景，为磁传感器的理解与选型提供参考。

目录

1 磁传感器技术类别 2
2 按照物理效应划分 2
2.1 霍尔效应传感器[1] 2
2.1.1 霍尔元件 3
2.1.2 开关霍尔 IC 3
2.1.3 线性霍尔 IC 3
2.2 磁阻效应传感器 4
2.2.1 AMR 传感器 4
2.2.2 GMR 传感器 5
2.2.3 TMR 传感器 5
3 按照功能集成度划分 6
3.1 单磁头级芯片 6
3.2 系统级芯片 6
4 结语 6
5 参考文献 6

1 磁传感器技术类别

磁性传感器是用于探测磁铁、电流磁场或地磁场强度与方向的装置。该技术从传统的分立器件到高度集成的系统级芯片，各自服务于不同的性能要求与应用领域。

分立式磁传感器如感应线圈、干簧管和电感式传感器，通常结构简单、成本低，主要用于磁场的开关检测或特定频率下的感应测量，实现的是“感知有无”，常见于门窗开关、接近检测等基础控制与安全场景，其核心需求是高可靠性与低成本。

芯片化磁传感器则基于半导体工艺，实现了传感单元的微型化与标准化。其中，**单磁头级器件**（如霍尔元件、AMR/GMR/TMR 元件）输出原始模拟信号，为系统设计提供了高灵活性，适用于对灵敏度、带宽或环境适应性有特殊要求的场合，例如高性能电流传感、精密仪器或定制化工业系统。而**系统级芯片**（如各类霍尔 IC、磁阻 IC）则在单磁头基础上集成了信号调理、模数转换乃至内嵌算法，能直接输出经过校准、线性化的标准电信号或数字量。这类器件实现了“感知强弱与方向”，具备非接触、高精度、低功耗与易集成的优势，其核心价值在于提供完整、可靠且易于使用的解决方案，广泛应用于汽车电子（如角度与位置检测）、工业控制（如伺服编码器）、消费电子（如智能设备姿态感知）以及需要高精度、多轴测量与智能融合的前沿领域（如无人机导航、医疗诊断设备）。至此，磁传感器芯片可被定义为：一种基于特定物理效应，采用半导体工艺制造，能够将磁场参数（强度、方向、梯度）转换为标准化电信号的集成电路。

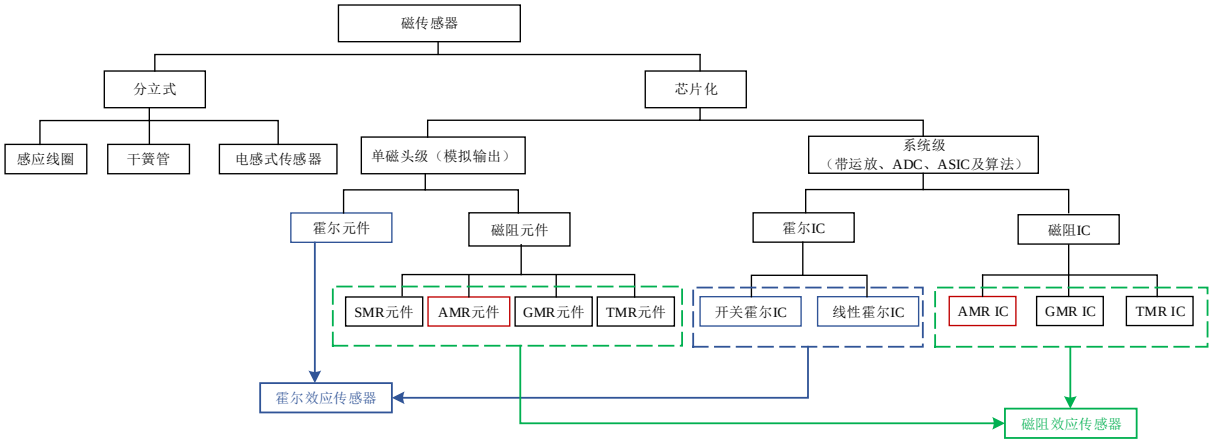


图 1 磁传感器分类

由图 1 可知，磁传感器不同的技术形态并非简单的替代关系，而是构成了一个满足从基础检测到高端测量全谱系需求的完整技术生态。下文着重描述**“芯片化磁传感器”**的相关技术信息。

2 按照物理效应划分

2.1 霍尔效应传感器[1]

磁传感器中，利用霍尔效应制成的传感器被称为霍尔传感器[1]。霍尔效应是指，在载流半导体上外加与电流方向垂直的磁场，垂直于电流和磁感线的方向会产生一个横向电势差。霍尔传感器分为：①利用霍尔效应获得的霍尔电势直接作为输出的**霍尔元件**；②霍尔元件输出通过后段 IC 处理后输出高低电平数字信号的**开关霍尔 IC**；③霍尔元件输出通过运放后成线性输出的**线性霍尔 IC**。

2.1.1 霍尔元件

霍尔元件是一种基础、通用的磁敏元件。在常见的使用环境下，其输出为几十毫伏的模拟电压信号，后续电路的设计可灵活地将此信号处理为数字或模拟形式。其输出电压与垂直于敏感区域的磁场强度成正比，如图 2 中蓝色虚线所示。通过输出电压 V_H 的正负可以反映磁场方向（输出正电压→电压高于零点→正方向磁场，N 极朝向传感器；反之，输出负电压→电压低于零点→负方向磁场，S 极朝向传感器）。理想情况下，若无垂直磁场施加，输出电压为 0。但实际上即使无磁场作用，输出端也存在一个非零的偏置电压 V_{offset}，如图 2 蓝色实线所示，这是设计与校准中需要考虑的关键参数。

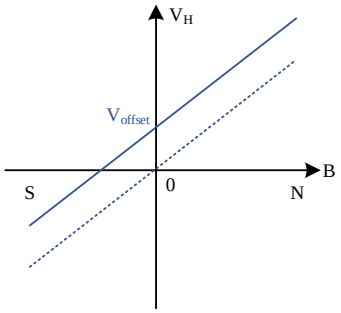


图 2 霍尔元件输出特性

2.1.2 开关霍尔 IC

开关霍尔 IC 是一种将霍尔元件与信号调理 IC 集成的数字式磁传感器。其工作原理是内部比较器将霍尔电压与预设阈值比较，将连续的磁场信号转换为由电源电压决定的高/低电平，从而驱动数字输出。为确保开关动作稳定需创建一个“迟滞区”，如图 3 所示，其动作点（B_{op}）与释放点（B_{rp}）满足 $B_{rp} < B_{op}$ 的关系，从而有效防止了在临界磁场附近输出信号出现快速、反复的抖动。

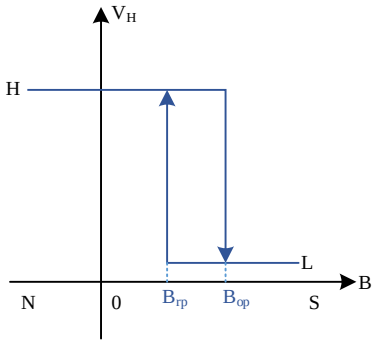


图 3 开关霍尔 IC 输出特性

2.1.3 线性霍尔 IC

线性霍尔 IC 是一种模拟输出的集成磁传感器。它在霍尔元件后级集成了高增益放大器，能输出一个与磁场强度线性相关且经过放大的电压信号，输出范围由电源电压 VCC 决定。输出特性曲线如图 4 所示，静态零点通常设置在电源电压的一半，使得输出能围绕此中点，根据磁场方向在 0V 至 VCC 的满幅范围内变化，实现方向辨别（磁场方向辨别方法与霍尔元件类似）。若采用轨对轨输出架构，可最大限度地利用电源电压的动态范围，提高信噪比和分辨率。

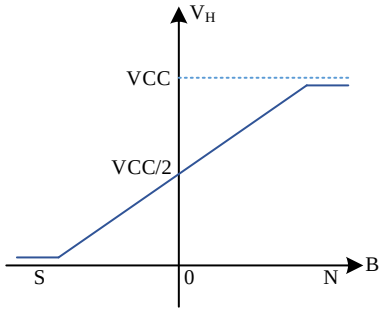


图 4 线性霍尔 IC 输出特性

2.2 磁阻效应传感器

磁阻效应传感器是一种基于磁阻效应工作的半导体器件，其核心原理是材料的电阻值会随外部磁场的变化而改变。与霍尔效应不同，它通常对磁场方向和强度更为敏感，能提供更高的灵敏度，已成为高精度磁场测量的主流技术方案。

需要提到的是，半导体磁阻传感器（SMR，Semiconductor Magneto Resistive）是磁阻效应的一种早期形式，其实现原理是由洛伦兹力而产生电动势，区别于金属磁性薄膜磁阻效应。根据物理机理与材料结构的不同，现代磁阻传感器（基于金属磁性薄膜）主要分为以下三种代表性类型：各向异性磁阻（AMR，Anisotropic Magneto Resistive）、巨磁阻（GMR，Giant Magneto Resistive)和隧道磁阻（TMR，Tunnel Magneto Resistive)。

2.2.1 AMR 传感器

AMR 传感器电阻变化依赖于铁磁材料内部磁化方向与流过它的电流方向之间的夹角。当磁化方向与电流平行时，电阻最大；垂直时，电阻最小。这种电阻率随方向变化的特性称为“各向异性”。AMR 传感器灵敏度高于霍尔效应几十倍，且饱和磁场较小，适合于低磁场范围高灵敏度线性磁场强度的测量。当外界磁场强度大于一定阈值时，AMR 电阻进入饱和磁场状态，此时 AMR 电阻变化率不随磁场强度大小变化，仅随磁场方向变化，从而进入一种绝佳的角度方向的位置测量状态。因此，AMR 传感器是所有磁传感器中最适合于测量角度和方向的位置传感器。

基于 AMR 技术的磁传感器，已发展出一个应用导向明确、覆盖全面的产品家族，如图 5 所示。

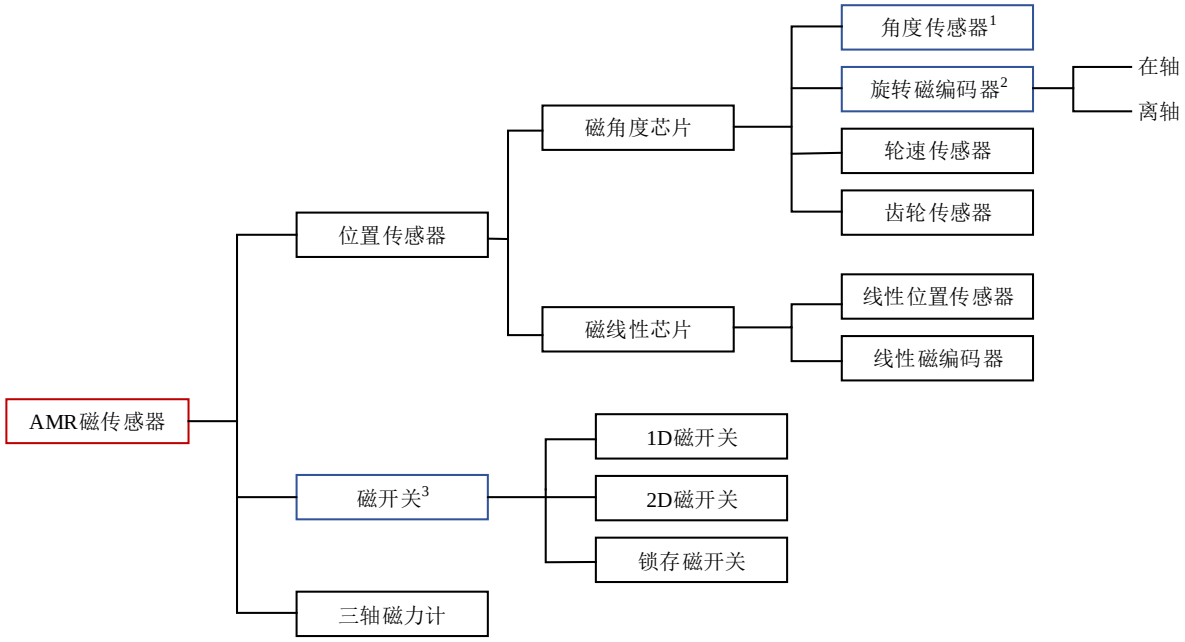


图 5 基于 AMR 技术的磁传感器分类

其核心产品线主要围绕角度、线性位置与开关三大检测维度构建。在角度测量领域，AMR 磁角度芯片可直接测量磁场方向以实现高精度角度检测，可构建高精度角度传感器[1]和旋转磁编码器[2]。在线性与开关检测方面，产品形态多样：磁线性芯片用于检测位置变化，构成线性位置传感器与线性磁编码器；而磁开关[3]则提供从基础的 1D/2D 开关信号到锁存开关等多种解决方案，以满足不同的通断检测需求。此外，该技术还衍生出三轴磁力计以及专用于齿轮检测和轮速测量的齿轮/轮速传感器，展现了 AMR 技术在汽车、工业与消费电子等领域卓越的适应性与可靠性。

2.2.2 GMR 传感器

GMR 传感器由两层铁磁层中间夹一层极薄的非磁性金属导电层构成。当两铁磁层的磁化方向平行时，与自旋方向一致的电子可以顺利通过，电阻最小；当磁化方向反平行时，电子散射增强，电阻最大。GMR 电阻变化率大于 AMR，具有高灵敏度、宽线性范围和高响应速度的特点。但由于其采用多层膜结构，噪声较高，信噪比不及 AMR。

2.2.3 TMR 传感器

TMR 传感器是 GMR 结构的进阶，将中间的非磁金属导电层替换为极薄的绝缘隧道势垒层。电阻变化依赖于电子穿越势垒的量子隧穿概率，该概率对两铁磁层磁化方向极为敏感（磁化方向平行时，隧穿容易，电阻低；反平行时，隧穿困难，电阻高）。TMR 具备所有磁阻技术中最高的灵敏度、极高的电阻和极低的功耗，但噪声比较高，且对 ESD 较为敏感。

[1] 圣邦微电子角度位置传感器芯片有 VCE1715[2]。

[2] 圣邦微电子旋转磁编码器芯片有 VCE2755[3]、VCE2758[4]，兼容轴心安装和偏心安装。

[3] 圣邦微电子磁开关传感器芯片有 VCS2381/VCS2382/VCS2383[5]，以及 VCS2395[6]。

3 按照功能集成度划分

3.1 单磁头级芯片

单磁头级芯片是磁传感器技术体系中的基础核心元件，其采用半导体工艺制造，仅包含纯磁敏感单元（如霍尔板或磁阻电桥）而不集成任何信号处理电路的微型化芯片。其仅负责将磁场信号线性转换为原始、微弱且高阻抗的模拟电信号，输出信号（电压差或微小电阻变化）与被测磁场强度或方向成比例。该类芯片高度依赖外部精密电路（如激励源、仪表放大器与模数转换器）才能实现有效测量，可提供极高的磁电转换灵敏度与设计灵活性，是追求极限性能、特殊应用或深度定制化传感器系统的关键组成部分。

3.2 系统级芯片

系统级芯片在单磁头级敏感单元的基础上，通过半导体工艺将完整的信号处理链与智能功能集成于单一封装内，构成一个功能完备的微型测量系统。该类芯片内部融合高精度传感单元（如 XMR）、信号调理电路、嵌入式处理器及智能算法、标准输出接口（架构如图 6 所示），能够直接输出经过放大、线性化、温度补偿后的稳定模拟信号或通过 I² C、SPI 等标准接口输出的数字信号。

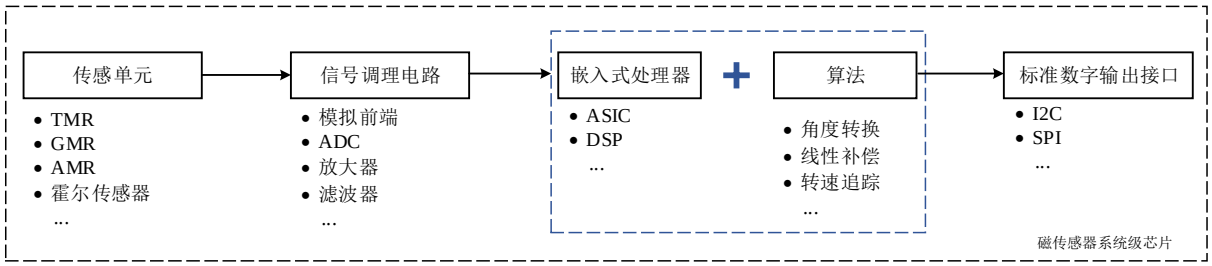


图 6 磁传感器系统级芯片构成框图

系统级芯片外部电路极简，大幅降低了应用开发门槛，同时通过芯片内部优化实现了高精度、低漂移与高可靠性，是驱动磁传感技术在汽车、工业、消费电子等领域广泛普及的核心产品形态。

4 结语

综上所述，磁传感器是一系列技术路径并存的产品体系，分别对应不同层级的性能需求和应用场景。分立器件成本低、用于基础开关检测；单磁头级芯片为高性能或特殊应用提供核心敏感单元；系统级芯片则提供高集成、即插即用的完整解决方案。作为感知磁场的关键器件，磁传感器在位置检测、电流测量、电机控制等领域发挥着不可替代的作用，其多样化技术路径将持续支撑各类电子系统的功能实现。

5 参考文献

[1] Asahi Kasei Microdevices Corporation. About Hall Sensors[EB].

[2] SG Micro Corp. VCE1715 Datasheet[EB/OL]. https://www.sg-micro.com/rect/assets/eb1206f7-9540-4af3-afdc-946624082e12/VCE1715.pdf.

[3] SG Micro Corp. VCE2755 Datasheet[EB/OL]. https://www.sg-micro.com/rect/assets/db119b16-8eeb-40df-8fd5-74e92fd603fd/VCE2755.pdf.

[4] SG Micro Corp.VCE2758 Datasheet[EB/OL]. https://www.sg-micro.com/rect/assets/64cb57c0-73ce-4a80-88b7-431ab31b5c44/VCE2758.pdf.

[5] SG Micro Corp. VCS2381/VCS2382/VCS2383 Datasheet[EB]. https://www.sg-micro.com/rect/assets/11532fa9-9d2d-45be-9bd4-64d54249e3cb/VCS2381_VCS2382_VCS2383.pdf.

[6] SG Micro Corp. VCS2395 Datasheet[EB]. https://www.sg-micro.com/rect/assets/44618042-c8aa-424d-906e-c08938df5bd7/VCS2395.pdf

修订记录

注意:历史版本的页码可能与当前版本的页码不同。

日期	版本	描述
2026-03-26	REV.A	首次发布

重要声明

本文档中如涉及本公司具体产品型号，SGMICRO 保留其更改电路设计、产品规格和产品描述的权利，恕不另行通知。本文档内容仅供参考。本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何承诺。对于本文档中可能出现的错误，以及因本文档提供的信息和使用本文档而造成的任何附带或间接损失，本公司不作任何明示或暗示的陈述和保证。
此文档未授予任何知识产权许可。除了 SGMICRO 在其产品的销售条款和条件中声明的责任外，本公司概不承担任何其他责任。

www.sg-micro.com

联系方式

圣邦微电子(北京)股份有限公司

地址：北京市海淀区西三环北路 87 号国际财经中心 D 座 11 层

邮编：100089

电话：010-88825716/17

深圳办事处

地址：深圳市南山区科技园高新南六道 6 号迈科龙大厦 15 层

邮编：518063

电话：0755-26715323

上海办事处

地址：上海市徐汇区漕溪北路 88 号圣爱大厦 1706 室

邮编：200030

电话：021-64396434