

霍尔速度传感器IC的设计与工艺实现

邹治骏

华东光电集成器件研究所 安徽 蚌埠 233030

摘要: 汽车行业的变速箱输出齿轮多数采用霍尔元件, 本文讨论的IC应用情形主要针对AEC-Q100标准下为实现IC制造的工艺难点和技术手段以及一部分工艺参数的探索。最后通过软件和硬件的分析, 当前技术框架下霍尔IC设计水准和制造工艺能够满足汽车行业使用要求。

关键词: 齿轮传感器; Bi-CMOS; 霍尔敏感元件

引言:

采用CMOS或BiCMOS工艺的磁敏感传感器是一种基于霍尔效应的磁电转换元件, 凭借其工艺简单、体积小、生产成本低、安装简便、工作电压范围宽、使用寿命长、测量精度高以及防尘、防油等优点, 已经广泛地应用到工业变频控制、交通运输、医疗系统、电子消费品和各类智能仪表等领域, 霍尔元件的制造工艺不仅体现在尺寸几何层面上的一致性, 更体现在每一输出项下的电气一致性上。

1 主要研究内容

速度传感器主要是在变速箱齿轮处约2mm安装, 输出的方波信号用于测量转速以及方向。按照AEC-Q100汽车电子标准, 一般在IC设计中应充分考量-40~150℃范围内工作的十年有效寿命, 研制不可避免面临诸多的技术挑战和难题。本论文针对一般架构的霍尔IC中主要技术节点进行分析。

2 IC设计与实现工艺

2.1 元件底层原理

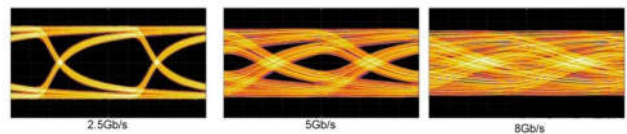
可以分析在恒定激励下磁场强度 B 正比于洛伦兹力的大小, 磁场强度的变化就会直接影响电子偏向输出端的速度和总量, 绝大多数领域的霍尔元件设计成十字交叉型的对称型结构, 目的是为了从几何尺寸上的约束便可以实现对霍尔元件量程和失调电压的控制, 同时对磁场更均匀地感应, 便于后续电路进一步信号处理。^[1]

2.2 激励时序

IC敏感测量端的每一项都采用两个完全相同的霍尔元件, 当从互相垂直的方向注入电流时, 失调电压的极性会相反, 而不改变磁场电压的极性, 再将两个霍尔元件的输出电压相加, 就可以得到无失调的输出。

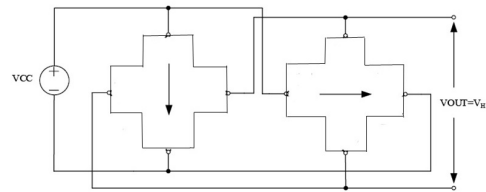
国际上曾有一种方案是在单个霍尔片依次按照“ \uparrow - \rightarrow - \downarrow - \leftarrow ”的顺序按照固定时序分别注入激励电流, (即每一个PAD的电气功能都是E+ S+ E- S- 依次序轮换)

每一个时序采样一次, 最后代数和相加, 数学思想也基于此, 但是, 分时处理所需要的逻辑电路以及“驱动桥轮换”和“差分电压采样轮换”变相增加了IC复杂程度, 同时, 在高速领域(超出一般速度传感器机械界限而言的电气高频信号GHz)存在着信号混叠的问题, 如图。^[2]



信号眼图

尽管这种电气学的极限量级远远超出一般工况, 也就是说正常运转不会遇到, 但是IC设计中如果能够在降低结构复杂程度的同时又能避免分时操作的复杂性是解决问题的首选。所以, 对于本身位置有固定相位差的AB相输出的速度传感器而言, 更适合霍尔阵列式设计 and 制造方法, 把分时操作的一切不可控因素彻底规避。



单项自校准示意

依照向量的概念描述这个思路就是“任意一对垂直向量的向量内积(\times 乘)为零。(cos90° = 0)”

为了降低失调电压对传感器精度的影响, 将IC敏感测量端的每一项都采用两个完全相同的霍尔元件, (即双项四单元霍尔阵列)当从互相垂直的方向注入电流时, 失调电压的极性会相反, 而不改变磁场电压的极性, 再将两个霍尔元件的输出电压相加, 就可以得到无失调的输出。

2.3 BiCMOS工艺

霍尔芯片作为一种特殊的芯片, 电路集成技术有着

其特殊性，由于芯片工作在交变磁场环境中，在进行集成电路设计时，必须时刻考虑磁场对电路器件的影响。

基于技术协议，本项目所研制的速度传感器的敏感器件需具有高灵敏度、高带宽、低噪声、低热漂移的特征。本项目重点解决了霍尔阵列、微磁路、信号处理单元的单片集成敏感器件的优化设计，Bi-CMOS工艺制程的霍尔敏感芯片工艺中有源区掺杂的精确控制和相对于安装尺寸而言容差率较高的集成化设计。保证了敏感器件的性能指标满足速度传感器的性能要求。霍尔单元在实际工序中，需要与后端放大电路匹配使用。为了减小霍尔元件产品的尺寸，设计了将霍尔元件与放大器、滤波器、施密特触发器封装在一起的结构，这种方式较为繁琐因此采用BiCMOS（双极CMOS工艺）电路的优化组合，CMOS电路充当高速高集成度、低功耗的电路部分，而用Bipolar电路来做部分其中一部分模拟电路。

特点 类型	速度	驱动能力	集成度	功耗	代表类别
Bipolar	高	高	一般	高	模拟元件
CMOS	中	低	高	低	门电路、逻辑电路、SOC
BiCMOS	高	高	高	中	数模、ASIC、驱动、RF等

采用Bi-CMOS工艺进行制造能够实现非常高的集成度和兼容性。采用Bipolar工艺可以制造出高速、高驱动能力的集成电路，如电源管理芯片、电动机驱动芯片等，但是Bipolar集成电路的功耗和集成度无法满足系统集成的要求，也不能满足无刷电机驱动、LED驱动控制等芯片的要求。CMOS工艺能制造低功耗、高度集成和抗干扰能力强的CMOS集成电路但是速度低、驱动性能差是其最大的弱点，只能满足数字集成电路和小功率模拟集成电路的需要。BiCMOS工艺是将Bipolar的器件和CMOS器件同时制造在同一芯片上，综合了Bipolar器件的高跨导、强驱动能力和CMOS器件的低功耗、高度集成的优点，为高速、高集成度、高性能及强驱动的集成电路发展开辟了一条新的道路。

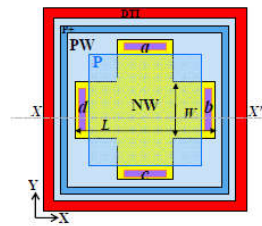
霍尔元件的灵敏度和材料的迁移率密切相关。为了减小霍尔元件产品的尺寸，设计了将霍尔元件与放大器、滤波器、施密特触发器封装在一起的结构。采用Bi-CMOS工艺（双极CMOS工艺）进行制造能够实现非常高的集成度和兼容性，但这种方式较为繁琐，因此其对有源区掺杂的控制精度要求更为严苛。^[1]

2.4 掺杂工艺

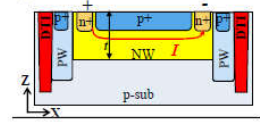
考虑掺杂浓度、N-WELL深度、灵敏度等关键工艺指标，如图所示，霍尔器件设计成适合Bi-CMOS工艺的水

平霍尔盘。

(a) Planar View of Hall Device



(b) Cross-section X-X'



单个霍尔单元

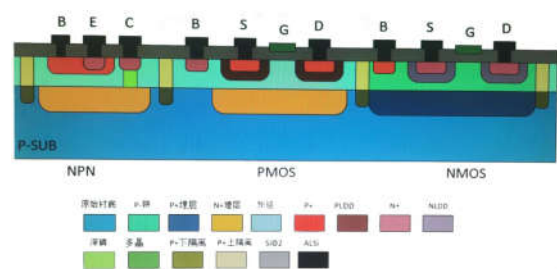
霍尔盘为N型半导体结构，工艺参数为磷掺杂， $1E17 (cm)$ 。

霍尔盘上覆盖有P+层，用于将有源区外界隔开，有源区与P型区域形成耗尽层，P+层工艺参数为硼掺杂 $1E18 (cm)$ 。

在霍尔敏感器件的设计中，本设计对BiCMOS工艺制程的霍尔单元有源区掺杂进行工艺的精确控制，采用离子注入方法，包括：提供半导体衬底，所述半导体衬底中形成有浅沟槽隔离结构，相邻的浅沟槽隔离结构之间的区域为有源区。工艺方法上，沟道区氧化、源漏区（CMOS部分）氧化推进和栅区主扩清洗采用标准RCA清洗；氧化前炉管DCE含氯炉管清洗；离子注入后优化退火工艺，修复注入时的晶格损伤；沟道和源漏注入后 $1130^{\circ}C$ 50min N2退火；栅区主扩 $920^{\circ}C$ 30min N2；

反型工序先扩散硼杂质进行基区掺杂（Bipolar）（P），然后对集电极和发射极进行磷掺杂。

有源区包括第一类型有源区和第二类型有源区，第一类型有源区和第二类型有源区的类型不同；形成图形化的吸光层，覆盖与第一类型有源区相邻的浅沟槽隔离结构；形成图形化的掩膜层，覆盖第二类型有源区以及所需图形化的吸光层；以所述图形化的掩膜层为掩膜对第一类型有源区进行离子注入。在本技术方案中，吸光层的存在避免出现光刻胶过曝光现象，避免对第一类型有源区进行离子注入时，掺杂离子对第二类型有源区造成掺杂，在全部半导体工艺中确保精确离子注入，离子注入后通过优化的热处理（退火）工艺激活载流子和修复注入过程中的晶格损伤，使得最终形成的半导体器件具有较佳性能。



主要包括：在P型硅衬底上注入做出N阱，浅槽隔离漏区，侧墙注入，接触（孔）形成，局部互连，通孔形成和金属互连，制作压点等。主要制造工艺见图所示。



芯片制造工艺流程图

霍尔敏感器件的性能与设计有关，在设计中就避免各项因素对电气性能的影响；在敏感器件制备执行有关措施：制备过程精确控制了霍尔元件的几何形状、掺杂工艺。

3 结论

通过上述对测试系统的软件、硬件方面的各项分析以及使用情况分析和验证结果，表明模样阶段设计并制造的敏感元件性能指标，综上所述，敏感元件的微加工

制造能力和技术工艺顺准可以满足汽车行业产品各方面满足使用条件和下阶段工作的可连续性。

参考文献

- [1]李辉《霍尔传感器及其应用电路》北京电子报1994
- [2]洪明等《多维度信号眼图补偿电路》CN211378030U
- [3]罗四维《传感器应用电路》详解 电子工业出版社 1994