

MEMS电场传感器技术

北京前海领创科技有限公司



1.1 MEMS技术概述



MEMS即微机电系统（**Micro-Electro-Mechanical System**），是利用大规模集成电路制造技术和微加工技术，把微传感器、微执行器、微结构、信号处理与控制电路、电源以及通信接口等集成在一片或者多片芯片上的微型器件或系统。

MEMS器件种类众多，主要分为**MEMS**传感器和**MEMS**执行器。**MEMS**传感器可以感知和测量物体的特定状态和变化，并按一定规律将被测量的状态和变化转变为电信号或者其它可用信号，**MEMS**执行器则将控制信号转变为微小机械运动或机械操作。

经过**40**多年的发展，**MEMS**从实验室走向实用化，已广泛应用于消费电子、汽车、工业与通信、医疗健康、高可靠等各个领域。基于**MEMS**技术的系统设备大大增强了人们与物理世界交互的能力，极大地改变了人们的生活方式。

1.2 MEMS行业发展历程

MEMS技术被誉为**21**世纪具有革命性的高新技术之一，其诞生和发展是需求牵引和技术推动的综合结果，亦是微电子技术和微机械技术的巧妙结合。

第一阶段：**MEMS**起源可追溯至**20**世纪**50**年代。硅的压阻效应被发现后，学者们开始了对硅传感器的研究。**20**世纪**70**年代末至**90**年代，安全气囊、制动压力、轮胎压力检测系统等汽车行业应用需求增长推动了**MEMS**行业发展的**第一次浪潮**，压力传感器和加速度计取得快速发展。

第二阶段：**20**世纪**90**年代末至**21**世纪初，信息技术的兴起和微光学器件的需求推动了**MEMS**行业发展的**第二次浪潮**，**MEMS**惯性传感器与**MEMS**执行器取得共同发展。

1.2 MEMS行业发展历程



第三阶段：2010年至今，产品应用场景的日益丰富推动了MEMS行业发展的**第三次浪潮**，如高性能的MEMS陀螺仪在工业仪器、航空、机器人等多方面得到应用。MEMS商业化将MEMS技术从最早的汽车应用领域向航空、工业和消费电子等领域不断扩展。

1.3 MEMS行业的产业链



MEMS产业链一般可分为四个环节：芯片设计、晶圆制造、封装测试以及系统应用。**MEMS**行业主要有**Fabless**和**IDM**两种经营模式。

采用**Fabless**模式的**MEMS**企业主要负责**MEMS**产品的设计与销售，将生产、封装、测试等环节外包。

采用**IDM**模式的国际企业，如博世、意法半导体、亚德诺半导体、霍尼韦尔等，经营范围覆盖了芯片设计、晶圆制造和封装测试等各环节。**MEMS**产业链如下所示：

1.3 MEMS行业的产业链

MEMS产业链如下所示:



1.4 MEMS行业市场现状



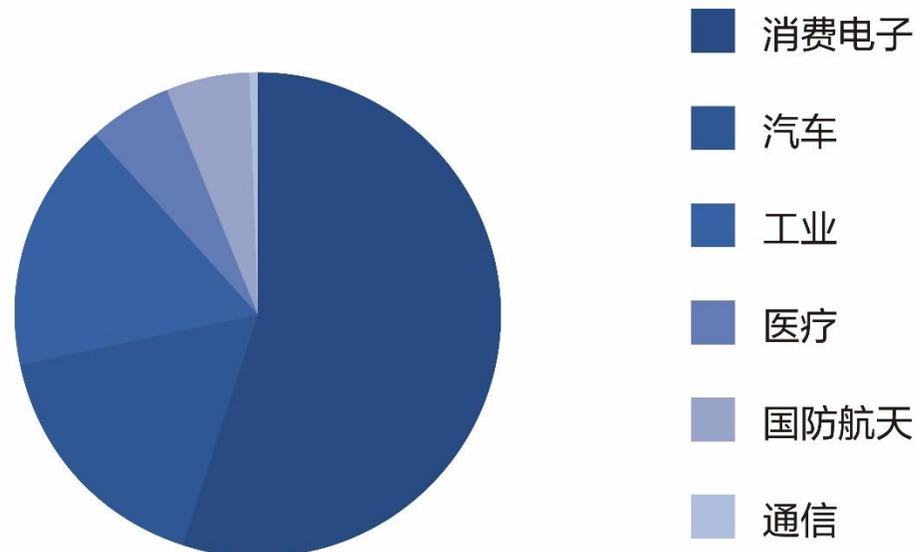
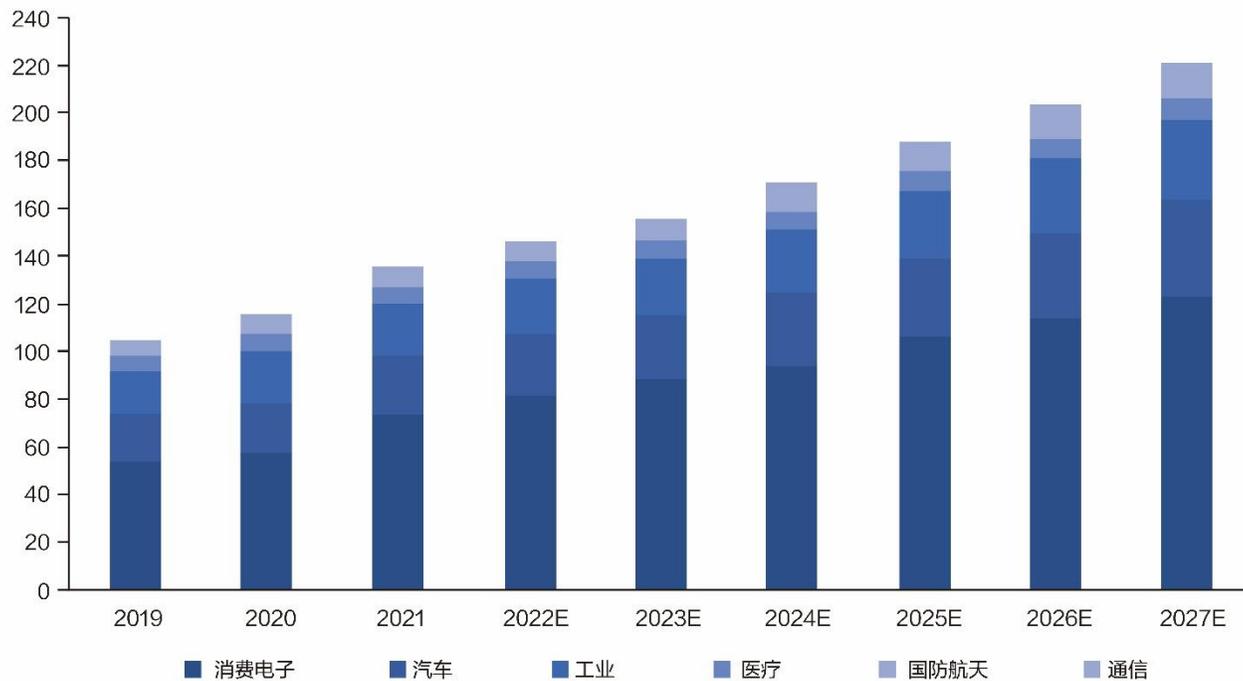
(1) 全球市场现状

根据Yole的统计和预测，全球MEMS行业市场规模将从2021年的136亿美元增长到2027年的223亿美元，2021-2027年复合增长率为9.00%。

MEMS器件已经被广泛应用于消费电子、汽车、医疗、工业、通信等多个领域。从2021年市场规模来看，消费电子、汽车和工业市场是MEMS行业最大的三个细分市场。

从全球竞争格局的角度看，目前少数巨头企业占据了全球MEMS行业的主导地位，2021年前十大MEMS厂商市场占比达到了57.94%，市场集中度较高。

1.4 MEMS行业市场现状



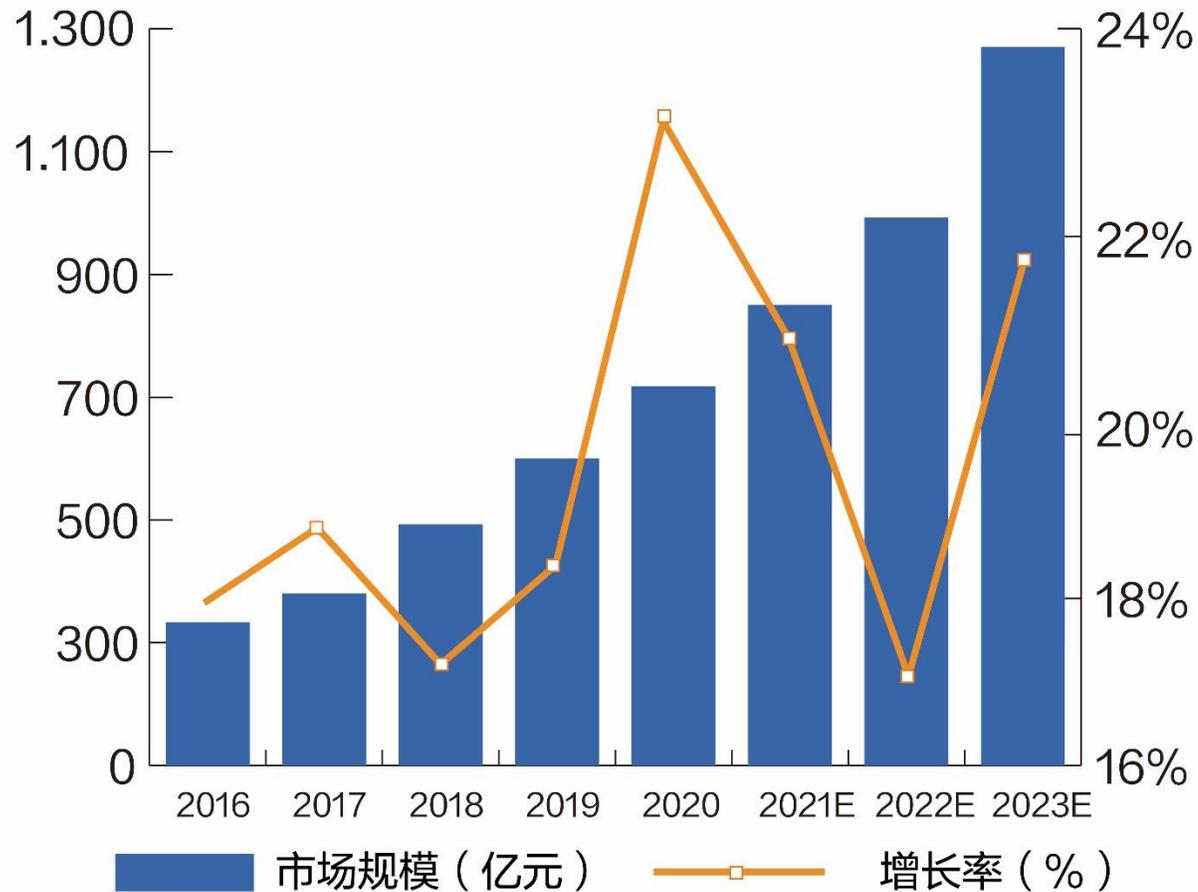
1.4 MEMS行业市场现状

(2) 国内市场现状

受益于工业物联网、智能制造、人工智能等战略的实施，加之各级政府加速推动智慧城市建设、智能制造、智慧医疗发展，MEMS市场具有较大的发展机遇。根据赛迪顾问数据整理，2020年中国MEMS市场保持快速增长，整体市场规模达到**736.70**亿元，同比增长**23.24%**，国内市场增速持续高于全球。预计**2022**年中国MEMS市场规模将突破**1,000**亿元，**2020-2022**年复合增长率为**19.06%**。

2021年中国MEMS市场以国外厂商为主，中国厂商中歌尔股份有限公司、瑞声科技控股有限公司、武汉高德红外股份有限公司、台湾积体电路制造股份有限公司进入了前**30**大厂商行列，发达国家在MEMS芯片设计和制造领域技术先进，在产品性能和可靠性等方面优势更为明显。

1.4 MEMS行业市场现状



1.5 MEMS产品类型与市场结构

MEMS产品主要分为MEMS传感器和MEMS执行器，常见的MEMS器件如下表所示：

类别	主要产品类型
MEMS传感器	惯性传感器：加速度计、陀螺仪、磁力计
	压力传感器
	声学传感器：MEMS麦克风、超声波传感器
	环境传感器：气体传感器、颗粒传感器、湿度传感器、温度传感器
	光学传感器：热释电/热电堆红外传感器、环境光传感器、颜色传感器、微幅射热计、指纹识别、超光谱传感器、傅里叶红外光谱仪、视觉传感器、3D感应

1.5 MEMS产品类型与市场结构

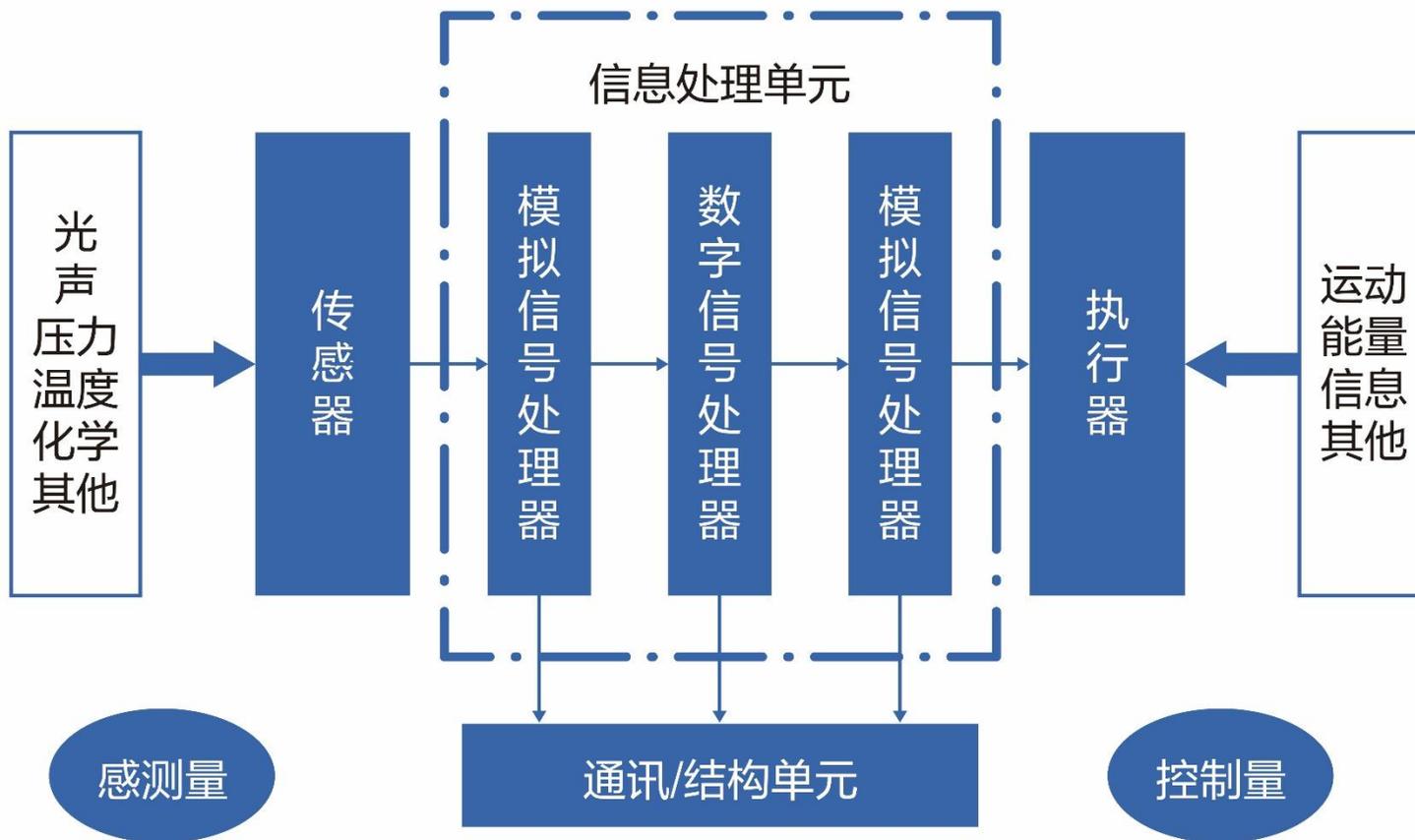
MEMS传感器是用来检测物理、化学或生物现象的器件；而**MEMS**执行器是用来产生机械运动、力和转矩的器件，两者用途存在较大差异，因而技术路线和难点不同。

类别	主要产品类型
MEMS执行器	射频MEMS：RF滤波器、MEMS开关、MEMS振荡器
	微流控：激光打印头、药物输送、生物芯片
	光学MEMS：微镜、自动对焦、光具座
	微结构：微探针
	MEMS扬声器
	超声波指纹

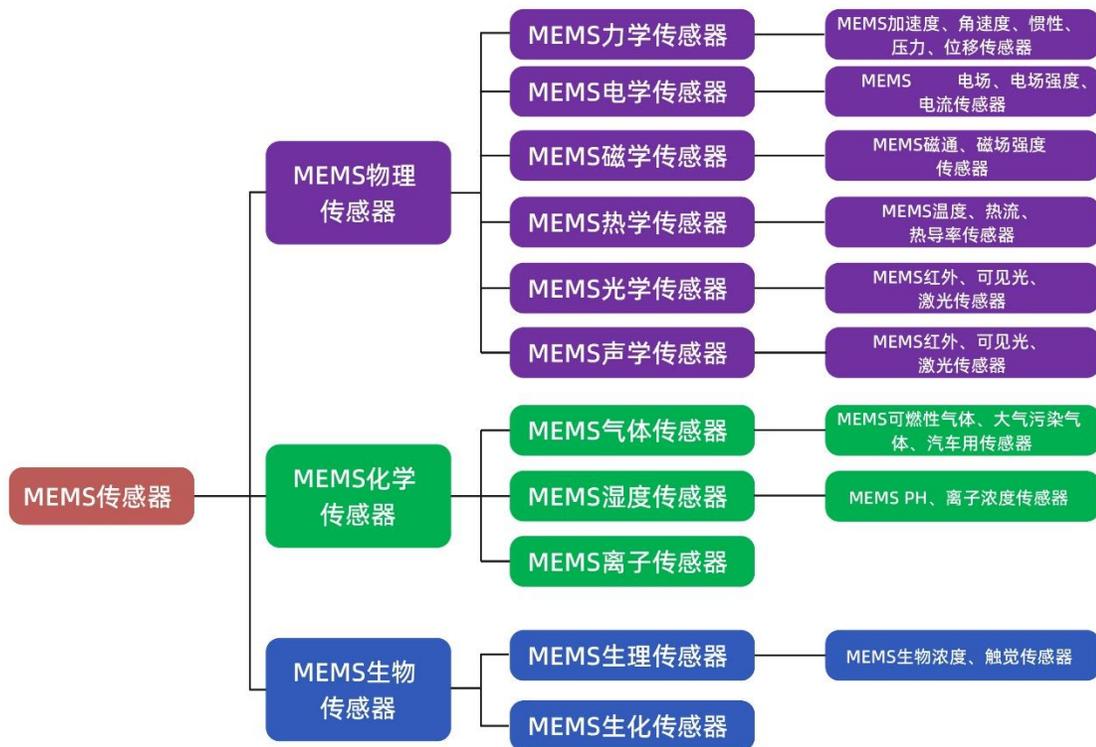
1.6 MEMS传感器的工作原理

MEMS传感器是采用微电子和微机械技术工艺制造出来的微型传感器，种类繁多，是使用最广泛的**MEMS**产品。**MEMS**传感器通过微传感元件和传输单元，可将输入的信号转换，并导出另一种可监测信号。与传统工艺制造的传感器相比，它具有体积小、重量轻、成本低、功耗低、可靠性高、适于批量化生产、易于集成和实现智能化等特点。**MEMS**惯性传感器属于**MEMS**传感器的重要分支，主要包括陀螺仪、加速度计等，并可通过组合形成惯性组合传感器**IMU**。

1.6 MEMS传感器的工作原理

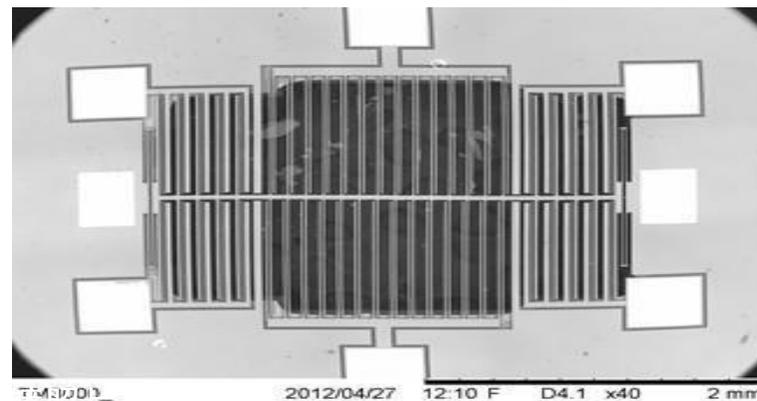
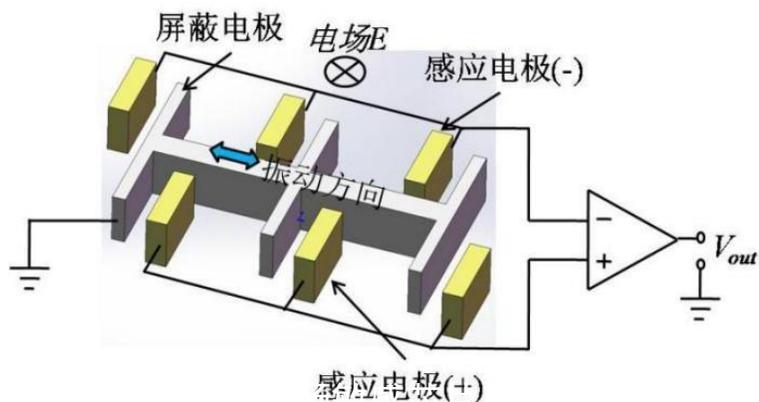


1.6 MEMS传感器的工作原理



2.1 MEMS电场传感器技术原理

MEMS电场传感器技术原理为传感器的屏蔽电极接地，在激励电压驱动下，激励电极带动屏蔽电极以频率 ω 水平振动，周期性遮挡感应电极。感应电极表面的感应电荷量发生周期性改变，产生感应电流，此电流幅值与被测电场幅值成正比，测量此电流值即可达到测量被测电场的目的。

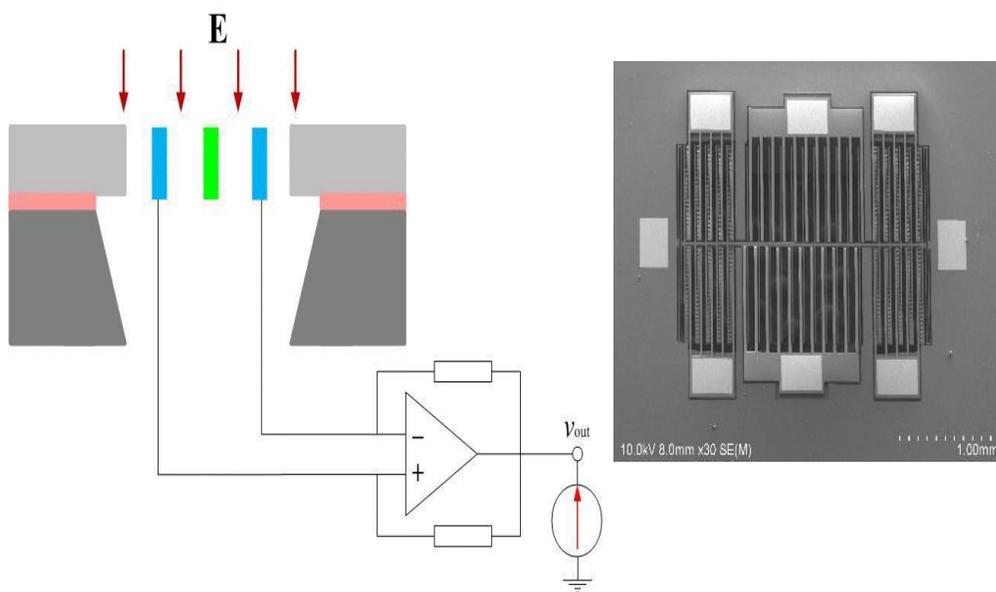


$$i_s = \frac{dQ(t)}{dt} = k_q X_r \omega E_n \cos(\omega t + \theta)$$

MEMS电场传感器工作原理

2.2 创新性及优越性

■ 提出创新的共面立体梳齿增敏结构



■ 提出高效高可靠的电场敏感芯片制备方法

关键工艺技术问题

- 微尺度敏感结构释放粘连
- 氧化埋层破裂引入污染
- 高深宽比深反应离子刻蚀

工艺流程规范，实现批量化制备

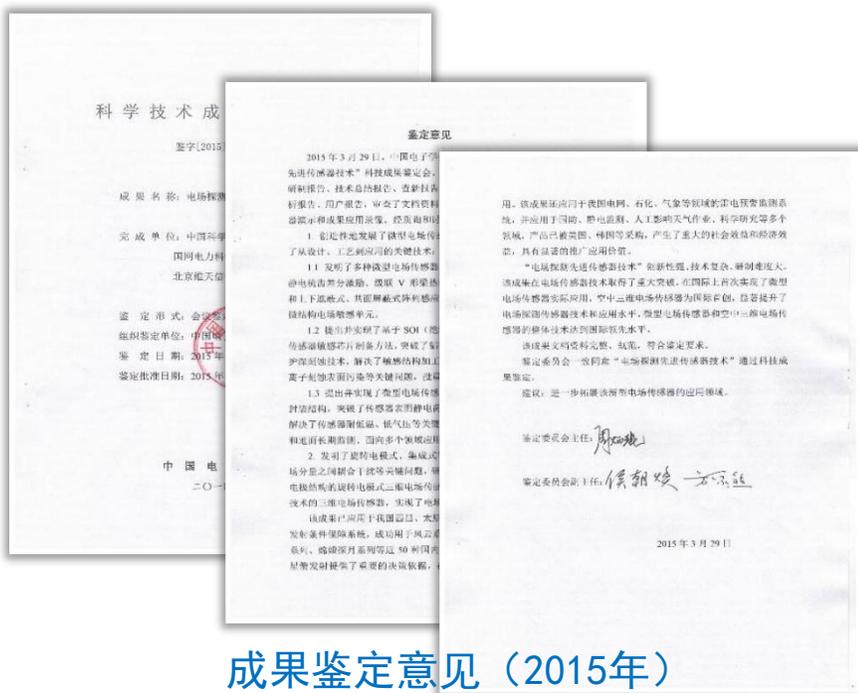


2.3 特点及优势

- ✓ 高灵敏、低功耗、体积小，易集成、易批量制造；
- ✓ 空间分辨率高，准确度高；
- ✓ 无电机易磨损的机械部件，可靠性强，寿命长；
- ✓ 采用谐振调制电场技术，零点稳定性好；
- ✓ 可实现交、直流电场同步测量；
- ✓ 高可靠的气密、防湿结构密封技术，提高了电场探测的准确度和长期稳定性；
- ✓ 抗静电及电磁干扰、耐环境温湿度变化的影响；

2.4 官方认证——科技成果鉴定

科技成果鉴定由国内权威机构中国电子学会组织，鉴定委员会由8位院士和多位领域内专家组成；其中清华大学周炳琨院士担任主任委员。



成果鉴定意见（2015年）

鉴定委员会名单

序号	鉴定会职务	姓名	工作单位	职务/职称	专业领域	签名
1	主任委员	周炳琨	清华大学	院士	激光与光电子技术	周炳琨
2	副主任委员	侯朝焕	中国科学院声学研究所	院士	信息处理	侯朝焕
3	副主任委员	方家骅	中国科学院上海技术物理研究所	院士	光传感技术	方家骅
4	委员	郑有林	南京大学	院士	半导体材料与器件	郑有林
5	委员	吕达仁	中国科学院大气物理研究所	院士	大气物理	吕达仁
6	委员	蒋仕德	西安交通大学	院士	机械制造及自动化	蒋仕德
7	委员	尤政	清华大学	院士	机械电子工程	尤政
8	委员	王巍	中国航天科技集团公司十三所	院士	导航、制导与控制	王巍
9	委员	常利民	工业和信息化部科技司	研究员级高工	电子信息	常利民
10	委员	宋宗炎	中国航天科技集团公司704所	研究员	遥感与传感技术	宋宗炎
11	委员	范茂军	中国电子科技集团公司第三研究所	研究员	微电子与固体电子学	范茂军

鉴定委员会名单(续)

序号	鉴定会职务	姓名	工作单位	职务/职称	专业领域	签名
12	委员	黄庆安	东南大学	教授	微电子及固体电子学	黄庆安
13	委员	郝一龙	北京大学	教授	微电子	郝一龙
14	委员	樊尚春	北京航空航天大学	教授	精密仪器与机械	樊尚春
15	委员	张义军	中国气象科学研究院	研究员	大气物理	张义军
16	委员	洪增秀	中国人民解放军二炮气象中心	高级工程师	军事气象	洪增秀
17	委员	何亿强	总装备部中心	高级工程师	航天气象	何亿强

鉴定委员会名单

鉴定结论：（该项目）在国际上首次实现了微型电场传感器实际应用，显著提升了电场探测传感器技术和应用水平。微型电场传感器的整体技术达到国际领先水平。

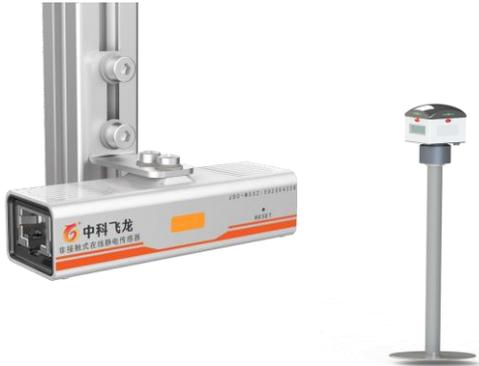
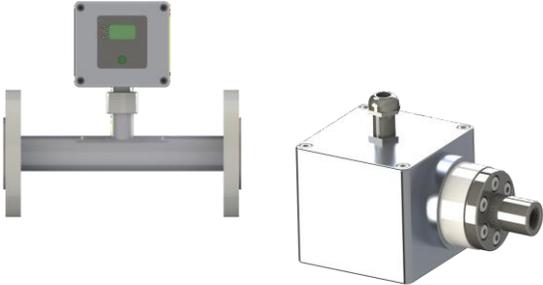
2.5 技术应用——科研

序号	课题名称	课题类型	起止时间 (年)
1	电场XX传感器	国家项目	2000-2002
2	微型空间电场传感器系统研究	国家自然科学基金	2002-2004
3	气象检测微系统实用化研究—微型电场传感器研究	863	2004-2005
4	XX电场传感器	国家项目	2005-2007
5	基于表面工艺的交错振动式微型电场传感器及其系统	863	2006-2009
6	电场传感器XXX	国家重大项目	2010-2013
7	雷电预警传感器及系统	863	2011-2014
8	微纳系统三维异质集成化技术	863	2015-2018
9	分布式三维大气电场探测系统	国家自然科学基金-重大仪器研制项目	2014-2018
10	基于MEMS的非接触式交直流电网电压传感器关键技术研究	国家自然科学基金	2012-2014
11	新型金属微结构电场传感器研究	国家自然科学基金	2014-2016
12	边界层大气电场与气溶胶特征相关性的综合探测系统建立与实验研究	国家自然科学基金	2018-2021
13	电场传感器集成技术	预研	2012-2017
14	电场传感器通用规范	电子信息基础部	2014-2015
15	微型电场传感器	国家重点研发计划	2018 -2021
16	高灵敏MEMS电场传感器敏感机理及器件研究	国家自然科学基金	2021-2025
17	高灵敏MEMS三维电场传感器	国家重点研发计划	2021-2024

前期该技术得到了**国家认可**，并应用于国防军工，较好解决了火箭、导弹发射高空电场探测等难题。

从2000年至今，公司及核心团队的研发实力和成果得到了国家科技主管机构和相关部门的认可和**支持**，基于此核心技术，公司承担近**20项国家课题及多项国家重点研发计划**。

2.5 技术应用——硬件设备+智能化服务系统

	雷电系列	静电系列	交直流系列	高空系列
硬件设备	<p>MEMS电场传感器</p> 	<p>在线MEMS静电传感器</p> 	<p>MEMS交直流电场传感器</p> 	<p>MEMS探空电场传感器</p> 
	<p>MEMS大气电场仪</p> 	<p>MEMS静电安全监测释放球 MEMS管道油品电荷密度测试仪</p> 	<p>MEMS非接触式特高压验电器</p> 	<p>MEMS三维电场传感器</p> 
智能化服务系统	<p>雷电预警系统 智慧城市系统</p>	<p>静电监测系统</p>	<p>智慧电网故障监测系统</p>	

2.5 技术应用——知识产权

公司专利

- 公司及核心团队已申报发明专利 78 项
- 其中授权 44 项
- 实用新型专利15项
- 国际专利授权5项（美国4项，欧洲1项）
- 软件著作权8项

- ✓ 参与推动MEMS电场传感器IEC国际标准（IEC62047-44）
- ✓ 制定国家军用标准计划1项代号：13DX17676
- ✓ 制定国家标准1项，标准号：GB/T35086-2018
- ✓ 参与制定五项行业标准

