2021年度湖南省技术发明奖提名公示

**一、项目名称**

高性能抗浪涌电流静电防护器件关键技术及集成应用

**二、提名意见**

静电放电是影响集成电路可靠性的关键因素，据美国国家半导体公司统计，静电放电造成的芯片失效占到集成电路产品失效总数的38%。研发基于标准CMOS工艺的高性能抗浪涌电流静电防护器件并集成有利于保障芯片在过压、静电、雷击浪涌等恶劣环境下使用来提高可靠性和延长使用寿命。湖南师范大学与湖南静芯微电子技术有限公司、深圳市爱协生科技有限公司等企业建立合作关系，基于标准微电子工艺，探究SCR静电释放机理，解决平面工艺堆叠二极管漏电流大、闩锁抗扰性差、失效等级低三个关键技术问题，并将高性能抗浪涌电流静电器件结构与单光子探测、高压通讯总线等芯片集成。在器件和芯片集成方面取得创新成果，解决了卡脖子的高静电防护等级关键技术问题。项目获得知识产权共计10项。上述发明成果已经应用于湖南静芯微、深圳爱协生、江苏芯力特、深圳优恩半导体、上海安导电子、深圳华商洋等公司的系列产品中，有效提高了产品的可靠性与稳定性，产生显著经济效益。同意推荐申报2021年湖南省技术发明奖。

**三、项目简介**

静电放电是影响集成电路芯片可靠性的关键因素，据美国国家半导体公司统计，静电放电造成的芯片失效占到集成电路产品失效总数的38%。因此，设计高性能ESD器件对于提高电子产品的可靠性有着十分重要的意义。本项目基于标准CMOS工艺，探究可控硅整流器（SCR）的静电释放机理，以研制高性能抗浪涌电流的静电防护器件为目的，解决平面工艺堆叠二极管漏电流大、闩锁抗扰性差、失效等级低等关键技术问题，并在新型高性能抗浪涌电流静电器件结构与单光子探测、高压通讯总线等芯片集成应用方面取得创新成果。主要技术内容：（1）探索可控硅器件正反馈负阻效应与电场驱动新机理——针对双向可控硅静电防护器件的电流释放路径，构建器件等效电路模型。基于正反馈负阻效应和自适应电场驱动理论探索栅控机制对可控硅的载流子传输物理行为的影响。（2）提出高性能抗万伏级浪涌电流器件系列新结构——针对传统可控硅的导通难度大、鲁棒性差等问题，提出自适应电场驱动机制来改善器件的开启特性，促进SCR的正反馈效应，将器件的失效等级提升至30kV以上。（3）基于CMOS工艺研究提出的器件与芯片集成应用——以荧光型光纤温度传感器用单光子探测芯片、RS485芯片、CAN芯片等应用为背景，建立多电源域全芯片级的ESD防护网络，设计实现器件与芯片的集成，提高系统应用的可靠性。

本项目依托湖南师范大学电子信息技术与应用研究生培养创新实践基地和三维光电传感器与应用联合实验室就高性能静电防护原理、器件和应用展开技术攻关，解决了卡脖子的高静电防护等级关键技术问题，实现抗万伏级静电防护设计的国产化，填补国内相关行业的技术空白；并与湖南静芯微、深圳爱协生等企业建立校企合作关系，完成湖南省和长沙市等科技重点研发项目，将成果应用于荧光型光纤温度传感器用单光子探测芯片、通讯协议等芯片的片上集成，并实现上述成果产业化。本项目解决了卡脖子的高静电防护等级关键技术问题，已经获得国家知识产权共计10项，其中授权国家发明专利7项、实用新型专利1项、布图设计权2项。上述关键技术已应用于湖南静芯微电子技术有限公司量产的ESD器件产品；相关技术成果还应用于深圳爱协生、江苏芯力特、上海安导电子等科技企业的系列产品芯片，产生显著经济效益。

**四、客观评价**

项目执行期间国家知识产权局已授权发明专利7个，实用新型专利1个，布图设计权2个。从国家意志上客观体现了本项目的创新性。基于项目关键技术形成的高性能静电器件产品已在国内ESD行业具有影响力的半导体厂商进行了检测。其中，以主要技术1“探索可控硅器件正反馈负阻效应与电场驱动新机理”为核心形成的产品SRV05-4LA通过检测，样片在IEC61000-4-2静电测试标准下测试，产品接触放电等级为23kV，空气放电为30kV；在IEC61000-4-5浪涌抗扰试验标准下测试浪涌峰值电流Ipp为5.1A和箝位电压Vc为12.5V；各通路电容平均值0.5pF。以主要技术2中“栅控可控硅器件正反馈环路均匀开启和失效电流提高关键技术”为核心形成的产品SELC3D3V1B在IEC61000-4-2静电测试标准下测试接触放电和空气放电等级均为30kV，当产品的箝位电压Vc为14.6V时可获得抗浪涌电流Ipp能力达到19A。以主要技术2中“提高维持电压与加强闩锁抗扰性的低导通电阻栅控假栅可控硅结构”为核心形成产品SENC712在IEC61000-4-2静电测试标准下测试，产品接触放电等级为10kV，空气放电为17kV；在IEC61000-4-5浪涌抗扰试验标准下，+12V方向测试浪涌峰值电流Ipp为15A，箝位电压Vc为25.5V，-7V方向测试浪涌峰值电流Ipp为24A，箝位电压Vc为16.55V；各通路电容平均值28.55pF。湖南省集成电路产业联盟指出ESD器件设计是保证电子系统静电可靠性的关键性技术。项目发明的技术方案有着科学的研发步骤，并且产学研合作成果突出，为我国拥有自主知识产权的高性能静电防护器件的技术攻关做出了巨大的贡献。上述产品对提升集成电路可靠性行业技术水平有着重要的推进作用，为业内组织解决共性技术难题提供了成功案例，建议国家和地方政府给予大力扶持，以促进国家集成电路可靠性行业的快速发展。

**五、推广应用情况**

本项目依托湖南师范大学电子信息技术与应用研究生培养创新实践基地和三维光电传感器与应用联合实验室，围绕双向可控硅作为ESD器件使用时存在的正反馈环路难以均匀开启、维持电压低、闩锁抗扰性差、静电防护能力不足等关键问题，开展技术攻关，项目的实施形成了一整套高性能抗浪涌电流的静电防护器件设计技术和方案。完成了湖南省和长沙市等省市科技计划项目的静电防护网络设计，形成了多电源域全芯片级ESD网络构建方法和单光子探测芯片静电防护方案。湖南师范大学先后与深圳爱协生、湖南静芯微、江苏芯力特等十余家公司签订产学研合作协议，上述发明成果已经应用于上述公司的系列产品中，系列产品和技术在上海先进、深圳方正、上海中芯国际、无锡上华、韩国东部等代工厂进行流片，有效提高了产品的可靠性与稳定性。截止2020年，应用相关技术的器件和芯片销售收入达1.6亿元、利润近0.3亿元，产生显著经济效益和社会效益。

**六、主要知识产权和标准规范等目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称 | 国家  （地区） | 授权号（标准编号） | 授权（标准发布）日期 | 证书编号 （标准批准发布部门） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人） | 发明专利（标准）有效状态 |
| 发明专利 | 一种提高维持电压的双栅栅控静电释放器件及其制作方法 | 中国 | ZL201810052904.7 | 2020年08月04日 | 3919963 | 湖南师范大学 | 金湘亮，汪洋 | 有效专利 |
| 发明专利 | 一种提高维持电压的带假栅静电释放器件及其制作方法 | 中国 | ZL201810052905.1 | 2020年12月18日 | 4160032 | 湖南师范大学 | 金湘亮，汪洋 | 有效专利 |
| 发明专利 | 一种双栅栅控可控硅整流器静电释放器件及其制作方法 | 中国 | ZL201810052911.7 | 2019年03月01日 | 3274599 | 湖南静芯微电子技术有限公司 | 金湘亮，汪洋 | 有效专利 |
| 发明专利 | 提高失效电压的双向假栅深阱静电保护器件及其制作方法 | 中国 | ZL201810872673.4 | 2019年11月15日 | 3599074 | 湖南静芯微电子技术有限公司 | 金湘亮，汪洋 | 有效专利 |
| 发明专利 | 提高维持电压的多晶硅假栅静电释放器件及其制作方法 | 中国 | ZL201810052801.0 | 2020年10月30日 | 4058497 | 湖南师范大学 | 金湘亮，汪洋 | 有效专利 |
| 发明专利 | 一种防止反向漏电的端口保护电路 | 中国 | ZL201710229333.5 | 2018年06月29日 | 2983200 | 江苏芯力特电子科技有限公司 | 金湘亮，张文杰，谢亮，周维瀚 | 有效专利 |
| 发明专利 | 一种基于可变焦距镜头的成像系统及成像方法 | 中国 | ZL201810112785.X | 2019年03月01日 | 3271053 | 湖南师范大学 | 金湘亮，曹胜果 | 有效专利 |
| 实用新型专利 | 低电容低钳位电压的SCR瞬态电压抑制器 | 中国 | ZL201820444928.2 | 2018年10月02日 | 7914892 | 湖南静芯微电子技术有限公司 | 骆生辉，汪洋，董鹏，金湘亮 | 有效专利 |
| 布图设计权 | 一种增强型SCR双向ESD防护器件 | 中国 | BS.195001753 | 2019年04月11日 | 21666 | 湖南师范大学 | 金湘亮，汪洋 | 有效专利 |
| 布图设计权 | 一种栅极保护环的宽光谱响应的单光子雪崩光电二极管器件 | 中国 | BS.195627504 | 2020年01月20日 | 27727 | 湖南师范大学 | 金湘亮、汪洋 | 有效专利 |

**七、主要完成人情况表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 职务 | 职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目主要技术发明的贡献 |
| 金湘亮 | 1 | 主任 | 教授 | 湖南师范大学 | 湖南师范大学 | 作为高性能抗浪涌电流静电防护器件关键技术及应用的主要负责人和研究者，建立可控硅器件机理研究、工艺模拟、参数提取、版图绘制、流片验证到集成应用的全流程静电防护设计方案；对芯片级ESD器件开展器件结构研究；提出芯片级可控硅结构ESD器件在高压通讯总线、荧光型光纤温度传感器中的应用思路；指导器件测试和工艺结构优化；指导解决工程化过程中的疑难问题。对本项目技术发明的第一项至第三项作出了贡献。旁证材料：发明专利1~8，实用新型专利1、布图设计权1~2。投入该项技术研究工作量占本人工作量的70%。 |
| 汪洋 | 2 | / | / | 湖南师范大学 | 湖南师范大学 | 作为高性能抗浪涌电流静电防护器件关键技术及应用的主要研究者。与负责人共同建立CMOS工艺可控硅器件机理研究、工艺模拟、参数提取、版图绘制、流片验证到集成应用的全流程静电防护设计方案；提出芯片级可控硅结构ESD器件工作机理、等效电路模型；提出抗30kV芯片级静电应力的ESD器件结构；完成器件测试和工艺结构优化。对本项目技术发明的第一项至第三项作出了贡献。旁证材料：发明专利1~5，布图设计权1~2。投入该项技术研究工作量占本人工作量的70%。 |
| 张文杰 | 3 | 总经理 | / | 江苏芯力特电子科技有限公司 | 江苏芯力特电子科技有限公司 | 作为高性能抗浪涌电流静电防护器件关键技术及应用的主要研究者。基于本项目发明的抗30kV芯片级静电应力的ESD器件结构，完成系列接口芯片的静电防护方案，解决工程化过程中的疑难问题，形成系列接口芯片产品：CAN收发器、LIN收发器、RS485、RS422、RS232。对本项目技术发明的第二项和第三项作出了贡献。旁证材料：发明专利6，应用证明3。投入该项技术研究工作量占本人工作量的60%。（因主要完成单位名额有限，未将江苏芯力特电子科技有限公司列入主要完成单位） |
| 骆生辉 | 4 | 技术总监 | / | 湖南静芯微电子技术有限公司 | 湖南静芯微电子技术有限公司 | 作为高性能抗浪涌电流静电防护器件关键技术及应用的主要研究者。基于本项目发明的抗30kV芯片级静电应力的ESD器件结构，结合上海先进半导体公司的流片工艺，完成器件测试和性能评估，解决工程化过程中的应用问题，形成系列ESD器件产品：SRV05-4LA、SELC3D3V1B和SENC712。对本项目技术发明的第一项和第二项作出了贡献。旁证材料：实用新型专利1、应用证明1。投入该项技术研究工作量占本人工作量的60%。 |
| 梁丕树 | 5 | 总经理 | 高级工程师 | 深圳市爱协生科技有限公司 | 深圳市爱协生科技有限公司 | 作为高性能抗浪涌电流静电防护器件关键技术及应用的主要研究者。基于本项目发明的抗30kV芯片级静电应力的ESD器件结构，采用0.18um上华工艺，主导完成深圳市爱协生科技有限公司单光子探测芯片、高压驱动芯片的静电防护应用，完成芯片设计与评估，实现了本项目相关技术的推广，产生显著经济效益。对本项目技术发明的第二项和第三项作出了贡献。旁证材料：发明专利8、发明专利9、应用证明2。投入该项技术研究工作量占本人工作量的50%。 |
| 夏群兵 | 6 | 副总经理 | 中级工程师 | 深圳市爱协生科技有限公司 | 深圳市爱协生科技有限公司 | 作为高性能抗浪涌电流静电防护器件关键技术及应用的主要研究者，基于本项目发明的抗30kV芯片级静电应力的ESD器件结构，采用0.18um上华工艺，完成深圳市爱协生科技有限公司单光子探测芯片、高压驱动芯片的静电防护应用，完成芯片评估，实现了本项目相关技术的推广，产生显著经济效益。对本项目技术发明的第三项作出了贡献。旁证材料：发明专利9、应用证明2。投入该项技术研究工作量占本人工作量的50%。 |

**八、主要完成单位情况表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 单位名称 | 排名 | 对本项目技术发明和推广应用情况的贡献 |
| 湖南师范大学 | 1 | 湖南师范大学采用标准微电子工艺，探索SCR静电释放机理，以研制高性能抗浪涌电流SCR为目的，解决平面工艺堆叠二极管的漏电流大、闩锁抗扰性差、失效等级低三个关键技术问题。在SCR的正反馈机制，新型结构，ESD器件与单光子探测芯片、高压通讯总线等集成技术应用方面取得系列创新成果：1、探索SCR正反馈负阻效应与电场驱动机理；2、高性能抗浪涌电流器件新结构；3、CMOS工艺SCR器件制造与应用研究。基于上述技术发明，推广应用情况总结如下：1、完成省、市、自治区计划等项目芯片的ESD防护网络和芯片级防护器件设计；2、通过与湖南静芯微电子技术有限公司的合作，形成高性能抗浪涌电流静电防护器件产品：SRV05-4LA、SELC3D3V1B和SENC712，将上述产品应用于江苏芯力特电子科技有限公司的系列接口芯片；3、依托湖南师范大学电子信息技术与应用研究生培养创新实践基地和三维光电传感器与应用联合实验室，通过深圳市爱协生科技有限公司将技术应用于单光子探测芯片、高压驱动芯片，相关技术还应用于上海安导电子科技有限公司、深圳市优恩半导体有限公司等芯片产品的研发，进一步提升了芯片的静电防护能力，减小了芯片的损耗以及维护成本。通过上述应用，至目前累计产生经济效益1.6亿元，累积新增税收约0.3亿元。以上关键技术是湖南师范大学具有自主知识产权的新技术，满足国家重大项目设计需求，填补国内空白，创造重大经济效益。 |
| 湖南静芯微电子技术有限公司 | 2 | 湖南静芯微电子技术有限公司是一家专业提供ESD/TVS器件和全芯片ESD设计服务的高科技公司，拥有自主知识产权16项，其中，发明专利2项，实用新型专利5项，集成电路布图设计权9项。公司自2017年起与湖南师范大学开展产学研合作，在ESD器件新结构及其参数改进、抗万伏级ESD器件平面工艺制造技术等方面取得了系列创新成果，并对项目成果进行了推广应用，具体情况如下：1、完成湖南省科技重点研发计划项目和长沙市科技重点研发计划项目，形成本项目主要技术2中的栅控可控硅器件正反馈环路均匀开启和失效电流提高关键技术；2、量产系列ESD器件：SRV05-4LA、SELC3D3V1B和SENC712，并在上海安导电子科技有限公司、深圳市优恩半导体有限公司等60多家公司形成销售；3、开展技术合作开发，公司受深圳市爱协生科技有限公司和江苏芯力特电子科技有限公司委托研发单光子探测芯片、高压驱动芯片、接口芯片用静电防护器件，并结合主要技术3形成的多电源域全芯片级ESD网络构建方法，完成了系列静电可靠性较高的芯片产品。 |
| 深圳市爱协生科技有限公司 | 3 | 深圳市爱协生科技有限公司是一家专注于显示控制芯片与模组研发与销售的企业，拥有自主知识产权发明专利4项。产品覆盖手机售后应用、物联网、智能家居、智能家电等多个领域，客户涵盖家电业的主要品牌厂家。公司自2017年起与湖南师范大学共建电子信息技术与应用研究生培养创新实践基地、三维光电传感器与应用联合实验室，与湖南静芯微电子技术有限公司开展合作，将主要技术2中的提高维持电压与加强闩锁抗扰性的低导通电阻栅控假栅可控硅结构，将主要技术3中的多电源域全芯片级ESD网络构建方法，应用于单光子探测芯片、高压驱动芯片以及芯片应用的产品中，极大地提高了产品的静电可靠性，增强了产品竞争力。因新技术的应用公司近三年累计新增销售额1.2亿元，新增利润2600万元，取得了良好的经济和社会效益。目前正在开展将该项技术推广应用于其它各类高压功率集成电路，具有很好的应用前景。 |

**九、主要完成人合作关系说明**

本项目第一完成人金湘亮为湖南师范大学教师，第二完成人汪洋为金湘亮老师的硕博连读研究生，攻读学位期间的研究课题为包括静电防护器件、光电探测器件及其单芯片集成，一直与金湘亮老师就高性能抗浪涌电流静电防护关键技术及应用开展合作研究，形成共同知识产权【发明专利1】。

本项目第三完成人张文杰为江苏芯力特电子科技有限公司的总经理，第一完成人金湘亮为第三完成人张文杰的攻读硕士和博士学位的导师；湖南师范大学和江苏芯力特电子科技有限公司签署产学研合作协议，第一完成人受聘为第三完成人所在公司的首席科学家，形成共同知识产权【发明专利6】。

本项目第四完成人骆生辉为湖南静芯微电子技术有限公司的技术总监，第一完成人金湘亮所在单位湖南师范大学与第四完成人骆生辉所在单位湖南静芯微电子技术有限公司共同展开产学研合作，形成共同知识产权【实用新型专利1】。

本项目第五完成人梁丕树为深圳市爱协生科技有限公司总经理，第六完成人夏群兵为副总经理，湖南师范大学和爱协生签署产学研合作协议和委托开发合同，共同建立三维光电传感器与应用联合校级实验室以及湖南省教育厅电子信息技术与应用研究生培养创新实践基地，梁丕树为实验室校外基地负责人，夏群兵为实验室校外基地技术负责人。第一完成人金湘亮、第五完成人梁丕树和第六完成人夏群兵形成共同知识产权【发明专利8、发明专利9】。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者/排名 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 | 备注 |
| 1 | 知识产权合著 | 金湘亮1/  汪洋2 | 2020年 | 一种提高维持电压的双栅栅控静电释放器件及其制作方法 | 发明专利1 |  |
| 2 | 知识产权合著 | 金湘亮1/  张文杰2 | 2018年 | 一种防止反向漏电的端口保护电路 | 发明专利6 |  |
| 3 | 知识产权合著 | 骆生辉1/  金湘亮4 | 2018年 | 低电容低钳位电压的SCR瞬态电压抑制器 | 实用新型专利1 |  |
| 4 | 知识产权合著 | 梁丕树2/  金湘亮4 | 2015年 | 一种单芯片集成用硅基复合增强型光电探测器的制作方法 | 发明专利8 |  |
| 5 | 知识产权合著 | 梁丕树2/  夏群兵3 | 2017年 | 一种图像锐化方法 | 发明专利9 |  |

**十、本项目提及的其他知识产权清单**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称 | 国家  （地区） | 授权号（标准编号） | 授权（标准发布）日期 | 证书编号 （标准批准发布部门） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人） | 发明专利（标准）有效状态 | 是否为“附件9”中其他3项知识产权 |
| 1 | 发明专利 | 一种单芯片集成用硅基复合增强型光电探测器的制作方法 | 中国 | ZL201310128455.7 | 2015年12月09日 | 1879123 | 深圳市爱协生科技有限公司 | 陈长平，梁丕树，刘文明，金湘亮 | 有效专利 | 是 |
| 2 | 发明专利 | 一种图像锐化方法 | 中国 | ZL201410025563.6 | 2017年04月12日 | 2454727 | 深圳市爱协生科技有限公司 | 朱道林，梁丕树，夏群兵，颜宏 | 有效专利 | 是 |