**技术发明奖公示内容**

1. **项目名称：**

射频前端小型化三维集成无源电路关键技术及应用

1. **提名者及提名意见（包含提名等级）：**

**提名者：**陕西省电子学会

**提名意见：**

该项目针对小型化射频前端应用，在国家自然科学基金、陕西省创新能力支撑计划等项目的资助下，基于三维集成技术，系统研究了射频前端小型化无源电路关键技术及应用，发明了高速高质量互连、小型化高密度无源器件、小型化多功能无源电路等技术，解决了射频前端无源电路的小型化难题，部分成果已经获得了产业化应用，取得了显著的经济效益和社会效益。

推荐该项目为2023年度陕西省技术发明奖二等奖。

1. **项目简介：**

随着无线通信和移动通讯系统的高速发展，电路系统的设计逐渐趋向于小型化、轻量化、高集成度。射频前端系统在整个信号传输的过程中，可以对信号进行变频、放大和过滤，是无线通信模块的重要部分。射频前端系统中有源电路的特征尺寸和集成度遵循摩尔定律持续提升，而集成无源电路占据了大量的硅片面积且尺寸减小速度相对缓慢，且大尺寸的无源电路无法基于现有集成电路技术实现集成。同时，随着频段和标准数目的增加，射频前端中的无源电路数目和面积不断增加，片外无源电路面积占总电路面积的65-80%，大量的片外分立无源电路导致系统体积、重量、成本的增大以及集成度低等问题。近年来，基于硅通孔（TSV）的三维集成技术引起国内业界的广泛关注和高度重视。该技术引入垂直方向上的设计自由度，可以在硅衬底三维空间内实现无源电路的灵活布局，突破现有集成架构的瓶颈，成为实现射频无源电路及滤波器微型化集成的有效技术途径。因此，采用三维集成技术，针对射频无源电路进行小型化科学问题和关键技术研究，可以有效加快射频前端小型化和一体化进程，具有十分重要的意义。

在国家自然科学基金、陕西省创新能力支撑计划等项目的资助下，系统研究了基于硅通孔技术的小型化射频无源电路关键技术及应用，发明了高速高质量互连、小型化高密度无源器件、小型化多功能无源电路，解决了射频前端无源电路的小型化等难题，部分成果已经获得了产业化应用，取得了显著的经济效益和社会效益。

1. **客观评价：**

1）科技获奖

2023年“基于三维集成技术的小型化射频无源器件”获得陕西省电子学会科学技术奖技术发明二等奖。

2）同行专家评价

项目所取得的多项研究成果获得了同行专家的一致认同和赞赏。

3）结题验收评价

主持完成了国家自然科学基金项目2项、陕西省青年科技新星计划项目1项。所有项目均顺利通过验收并按期结题。

1. **应用情况和效益：**

本项目发明了高速高质量互连、小型化高密度无源器件、小型化多功能无源电路等技术，解决了射频前端无源电路的小型化等难题，部分成果已经获得了产业化应用，其中包括西安国创电子股份有限公司等单位，取得了显著的经济效益和社会效益。

1. **主要知识产权目录：（限10条，所列专利证书颁发日期、标准规范发布日期、论文发表日期应在2022年12月31日之前。）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家  （地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 国家发明专利 | 一种基于TSV和RDL的三维电容器 | 中国 | ZL201810650523.9 | 20200626 | 3860957 | 西安理工大学 | 王凤娟，黄嘉，余宁梅 |
| 2 | 国家发明专利 | 微带缝隙双频可调滤波器 | 中国 | ZL201310731632.0 | 20150826 | 1767735 | 西安理工大学 | 席晓莉,师晓敏,刘江凡 |
| 3 | 国家发明专利 | 基于TSV的超紧凑宽阻带U波段SIW滤波器 | 中国 | ZL202111421924.5 | 20221125 | 5603795 | 西安理工大学 | 王凤娟,卢颖,余宁梅,杨媛,朱樟明,尹湘坤 |
| 4 | 国家发明专利 | 一种基于硅通孔技术的低通滤波器 | 中国 | ZL201610533310.9 | 20180928 | 3091337 | 西安理工大学 | 王凤娟, 王刚，余宁梅 |
| 5 | 国家发明专利 | 一种采用TSV技术的增强耦合型三维发夹滤波器 | 中国 | ZL202010132808.0 | 20210910 | 4672977 | 西安理工大学 | 王凤娟，柯磊，余宁梅 |
| 6 | 国家发明专利 | 一种基于TSV的并联开路短截线型宽带带阻滤波器 | 中国 | ZL202110357179.6 | 20220503 | 5124763 | 西安理工大学 | 王凤娟,张凯,余宁梅,杨媛,朱樟明,尹湘坤 |
| 7 | 国家发明专利 | 一种基于TSV的脊状基片集成波导带通滤波器 | 中国 | ZL202010566782.0 | 20211022 | 4744420 | 西安理工大学 | 王凤娟，李玥，任睿楠，余宁梅，杨媛，朱樟明，尹湘坤 |
| 8 | 国家发明专利 | 一种基于硅通孔技术的定向耦合器 | 中国 | ZL202110297239.X | 20220415 | 5077738 | 西安理工大学 | 王凤娟,肖洒,余宁梅,杨媛,朱樟明,尹湘坤 |
| 9 | 国家发明专利 | 一种RDL电感补偿的硅通孔定向耦合器 | 中国 | ZL202110297244.0 | 20220412 | 5066802 | 西安理工大学 | 王凤娟,肖洒,余宁梅,杨媛,朱樟明,尹湘坤 |
| 10 | 国家发明专利 | 基于TSV垂直开关的惠斯通电桥可变电感器 | 中国 | ZL201910574745.1 | 20210615 | 4484184 | 西安理工大学 | 王凤娟，任睿楠，余宁梅 |
| **注意：**上述知识产权无争议且为本项目独有，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年其他省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖提名项目中作为支撑材料出现。用于提名陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的权利人（专利指发明人）的同意，知情同意证明材料均存档备查。 | | | | | | | | |

1. 主要完成人情况：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 排名 | 姓名 | 技术职称 | 行政职务 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目的贡献 |
| 1 | 王凤娟 | 教授 | 党支部副书记 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 提出了PN结自动隔离TSV互连技术、重掺杂屏蔽互连技术、同轴TSV嵌套高介电常数MIM电容器、TSV可调磁芯电感器、超紧凑宽阻带LC低通滤波器、电感补偿宽频带定向耦合器等技术，解决了射频无源器件及电路信号完整性和小型化问题。 |
| 2 | 刘江凡 | 副教授 | 院科研秘书 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 提出了基于TSV阵列的三维高值集成电容器、缝隙双频可调滤波器、超高带外抑制宽频带带通滤波器等技术，解决了射频无源电路小型化、高性能、可调谐的问题。 |
| 3 | 席晓莉 | 教授 | 无 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 提出了超宽阻带带通滤波器、缝隙双频可调滤波器、高性能耦合器等技术，解决了射频无源电路的小型化及可调谐问题。 |
| 4 | 杨媛 | 教授 | 国际工学院院长、书记 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 提出了超宽带高带外抑制带通滤波器、用于耦合器的高频段三维小型化曲折传输线等技术，解决了射频无源滤波器带外抑制和传输线信号完整性问题。 |
| 5 | 王彩琳 | 教授 | 无 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 提出了电感补偿宽频带定向耦合器、超宽阻带带通滤波器等技术，解决了射频前端无源电路小型化的问题。 |
| 6 | 李建伟 | 讲师 | 院科研秘书 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 发明了三维互连阻抗匹配优化技术、双环硅通孔技术、小型化波导滤波器技术等，解决了射频信号完整性和小型化难题。 |

1. 主要完成单位情况：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 排 名 | 完成单位 | 创新推广贡献 |
| 1 | 西安理工大学 | 西安理工大学作为唯一完成单位，承担了项目全部技术研发，系统研究了基于三维集成的小型化射频前端无源电路关键技术，发明了高速高质量互连、小型化高密度无源器件、小型化多功能无源电路等，解决了射频前端无源电路尺寸大、数量多、难以集成等难题，部分成果已经获得了产业化应用。 |

1. 完成人合作关系说明：

本项目相关内容的研究过程中，第一完成人与本项目中其他完成人一直保持着紧密的合作。完成人王凤娟、刘江凡、席晓莉、杨媛、王彩琳、 李建伟同为西安理工大学教师，具有共同获奖、共同立项、共同知识 产权、论文合著关系。王凤娟、杨媛、刘江凡是陕西省电子学会技术 发明二等奖“基于三维集成技术的小型化射频无源器件”的主要获奖人，席晓莉、刘江凡是“微带双频缝隙双频可调滤波器”发明专利的主要发明人，王凤娟、杨媛是“一种基于TSV 的并联开路短截线型宽带带阻滤波器”等发明专利的主要发明人，王凤娟、王彩琳、李建伟是国家自然科学基金面上项目“基TSV技术的THz波导滤波器及多物理场耦合特性研究”的主要项目参与者。