**附件**

**高效率太阳能电池用锗单晶片产业化关键技术研究与应用**

**项目简介**

**一、项目名称**

**高效率太阳能电池用锗单晶片产业化关键技术研究与应用。**

**二、提名者及提名意见**

**提名者：昆明高新技术产业开发区管理委员会。**

**提名意见：云南省技术发明一等奖。**

**三、项目简介**

**以锗衬底Ⅲ/Ⅴ族太阳电池光电转化率高达35 %，是空间卫星、太空站必备电源，而锗单晶片是关键衬底材料。随着我国航空航天对空间电源用锗单晶片需求的大幅增长，问题日益凸显：1）技术不成熟，大量依赖进口；2）位错密度大，光电转化效率低；3）加工废料综合回收难；4）产品缺少技术标准体系。以上问题严重制约着我国卫星用锗产业的可持续发展和国际地位。为此，该项目以实现锗单晶片国产化为目标，提出了“VGF法单晶生长、晶片无损伤研磨减薄加工、含锗废料综合回收、研制成套标准体系”的新思路，但存在如下技术难题：1）锗晶锭与氮化硼坩埚分离困难；2）锗单晶片表面化学腐蚀缺陷难以消除；3）锗与多组分杂质分离困难；4）低位错密度锗单晶片缺少检测方法。在国家科技支撑等重大专项支持下，历经12年联合攻关，解决了上述问题，取得如下成果：**

1. **针对VGF法锗单晶生长后晶锭与氮化硼坩埚难剥离问题，揭示了炉热处理-甲醇浸蚀-超声强化联合剥离粘附在坩埚与晶锭间B2O3的作用机理，发明了晶锭与热解氮化硼坩埚的脱离方法及设备，解决了VGF法晶体生长后晶锭与氮化硼坩埚难于分离的技术难题。**
2. **针对锗单晶片在化学腐蚀清洗过程中合格率低，表面残留蓝色药印难消除问题，阐明了在NaOH溶液中H2O2氧化去除药印的方法和原理，发明了NaOH-H2O2混合液消除表面残留药印和SPM+SOM+APM三种清洗液联合分步清洗方法。**
3. **针对锗单晶片加工含锗废料中锗与多组分杂质难分离问题，阐明了切割油含锗废料的真空过滤-精馏分油-碱氧化溶锗和含锗含氟废硝酸的H3BO3-SiO2热处理除氟-纳滤膜分离锗的机理，发明了含锗废料的绿色综合高效回收技术。**
4. **针对低位错锗单晶片无高精度测量方法难题，阐明了37点法测量低位错锗单晶片位错密度的方法原理，研制了“GB/T 34481低位错密度锗单晶片腐蚀坑密度（EPD）的测量方法”等9项国家标准，形成完整的标准体系。**

**项目实施期获国家发明专利6件，国家标准9项，实用新型专利11件。在世界最大的锗生产企业-云南锗业及其2家子公司成功应用，建成了国内第一条年产****50万片4〃-6〃锗单晶片生产线。成果填补了国内空白，实现了我国卫星用锗材料的进口替代，解决了“卡脖子”的技术难题。专家鉴定认为“该成果总体达到国际先进、部分达到国际领先水平”。项目研制的标准获云南省标准化创新贡献奖。**

**四、主要完成人（完成单位）情况**

**1.惠峰（云南中科鑫圆晶体材料有限公司）**

项目技术总负责人；提出了总体技术思路、方案和路线，主持基础理论研究、小型及中试实验研究、工艺技术流程和关键设备的设计、研制；对4个发明点均有创造性贡献。核心发明专利的主要发明人，其中2项专利的第二发明人；9项国家标准的主要起草人，其中2项标准的第一起草人，1项标准的第二起草人。对太阳能电池用锗单晶生长后晶锭与氮化硼坩埚剥离；锗单晶的生长、晶片加工、晶片测试、标准的制订起到关键作用，负责项目成果在云南中科鑫圆晶体材料有限公司的实施应用。作为项目负责人主持了：（1）国家科技支撑计划—太阳能电池用锗单晶制备关键技术研究及晶片开发（2009BAE84B01）（排名第一）；（2）电子信息产业振兴和技术改造项目计划—高效率太阳能电池用锗单晶及晶片研发及产业化建设项目（排名第一）；（国家发改委、工信部（2013）1125号文）；（3）国家工信部工业强基计划—超薄锗单晶材料方案（TC190A4DA/34）（排名第一）；（4）云南省省院省校科技合作专项—太阳能电池用锗单晶片大规模产业化中关键技术研究(2012IB010)（排名第一）。

**2.普世坤（云南临沧鑫圆锗业股份有限公司）**

项目技术负责人；作为项目主要成员参与提出了总体思路、技术方案和路线，参与基础理论研究、实验研究、工艺技术和关键设备的设计开发、产业化推广应用；对4个发明点均有创造性贡献。核心发明专利的主要发明人，其中2项专利的第一发明人，1项专利的第二发明人；9项国家标准的主要起草人，其中3项标准的第一起草人，3项标准的第二起草人，1项标准的第三起草人，2项标准的第四起草人。对锗单晶片的表面氧化层消除、锗单晶片位错密度测试方法、太阳能锗单晶含锗废料中锗的高效提取技术的突破起到关键作用，负责项目成果在云南临沧鑫圆锗业股份有限公司、云南东昌金属加工有限公司的实施应用。作为项目主要成员参与了：（1）国家科技支撑计划—太阳能电池用锗单晶制备关键技术研究及晶片开发（2009BAE84B01）（排名第三）；（2）电子信息产业振兴和技术改造项目计划—高效率太阳能电池用锗单晶及晶片研发及产业化建设项目；（国家发改委、工信部（2013）1125号文）（排名第二）；（3）国家工信部工业强基计划—超薄锗单晶材料方案（TC190A4DA/34）（排名第二）；（4）云南省省院省校科技合作专项—太阳能电池用锗单晶片大规模产业化中关键技术研究(2012IB010)（排名第二）。

**3.包文东（云南临沧鑫圆锗业股份有限公司）**

组织领导项目成果的产业化应用实施；作为项目主要成员参与了项目策划、发展规划、总体技术方案的制定和产业化实施；参与了项目工艺技术和关键设备的开发、产业化推广应用等工作；对4个发明点均有重要贡献。3项国家标准的主要起草人，其中2项标准的第一起草人，1项标准的第三起草人。对太阳能锗单晶的生长、晶片加工技术的突破起到支撑作用，负责项目成果在云南临沧鑫圆锗业股份有限公司的实施应用。作为项目主要成员参与了：（1）国家科技支撑计划—太阳能电池用锗单晶制备关键技术研究及晶片开发（2009BAE84B01）（排名第二）；（2）电子信息产业振兴和技术改造项目计划—高效率太阳能电池用锗单晶及晶片研发及产业化建设项目；（国家发改委、工信部（2013）1125号文）（排名第三）；（3）国家工信部工业强基计划—超薄锗单晶材料方案（TC190A4DA/34）（排名第三）。

**4.柳廷龙（云南中科鑫圆晶体材料有限公司）**

项目成果产业化应用实施的主要负责人；参与了项目策划、发展规划、总体技术方案的制定和产业化实施；参与了项目工艺技术和关键设备的开发、产业化推广应用等工作；对发明点1、2有较大贡献。对太阳能锗单晶的生长、加工技术的突破起到重要作用，负责项目成果在云南中科鑫圆晶体材料有限公司的实施应用。作为项目主要成员参与了：（1）电子信息产业振兴和技术改造项目计划—高效率太阳能电池用锗单晶及晶片研发及产业化建设项目；（国家发改委、工信部（2013）1125号文）；（2）国家工信部工业强基计划—超薄锗单晶材料方案（TC190A4DA/34）。

**5.高永亮（中国科学院半导体研究所）**

项目的主要完成人之一，对太阳能电池用锗单晶生长后晶锭与氮化硼坩埚剥离；锗单晶的生长、晶片加工、晶片测试、标准的制订起到重要作用，参与项目成果在云南中科鑫圆晶体材料有限公司的实施应用。作为项目主要成员参与了：（1）国家科技支撑计划—太阳能电池用锗单晶制备关键技术研究及晶片开发（2009BAE84B01）；（2）电子信息产业振兴和技术改造项目计划—高效率太阳能电池用锗单晶及晶片研发及产业化建设项目；（国家发改委、工信部（2013）1125号文）；（3）云南省省院省校科技合作专项—太阳能电池用锗单晶片大规模产业化中关键技术研究(2012IB010)（排名第三）。负责发明点1的试验研究、工艺技术和关键设备的开发和产业化应用。核心发明专利的主要发明人，其中2项专利的第一发明人。

**6.董汝昆（云南中科鑫圆晶体材料有限公司）**

项目的主要完成人之一，1项国家标准的第三起草人，5项实用新型专利的第一、第二发明人。对太阳能电池用锗单晶的生长、晶片测试、标准的制订起到重要作用，参与项目成果在云南中科鑫圆晶体材料有限公司的实施应用。参与了发明点1的试验研究、工艺技术和关键设备的开发和产业化应用、参与了发明点4的标准体系制定。

**7.何杰（云南中科鑫圆晶体材料有限公司）**

项目的主要完成人之一，1项核心发明专利的第一发明人。对太阳能电池用锗单晶片加工起到重要作用，参与项目成果在云南中科鑫圆晶体材料有限公司的实施应用。参与发明点2的试验研究、工艺技术的开发和产业化应用。

**8.朱知国（云南临沧鑫圆锗业股份有限公司）**

项目的主要完成人之一，2项国家标准的主要起草人之一，1项核心发明专利的第二发明人。对太阳能锗单晶含锗废料中锗的高效提取技术的推广应用起到重要作用，负责项目成果在云南临沧鑫圆锗业股份有限公司、云南东昌金属加工有限公司的实施应用。

**9.包文瑧（云南中科鑫圆晶体材料有限公司）**

项目的主要完成人之一，3项实用新型专利的第一、第三、第四发明人，参与了发明点1的试验研究、工艺技术和关键设备的开发和产业化应用，对太阳能电池用锗单晶的生长起到重要作用，参与项目成果在云南中科鑫圆晶体材料有限公司的实施应用。

**五、代表性学术成果**

**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** |
| 01 发明专利 | 一种晶锭与热解氮化硼坩埚脱离方法及设备 | 中国 | ZL 200510012053.6 | 2008- 05-14 | 第397432号 | 中科院半导体所 | 高永亮、惠峰、王文军 | 有效专利 |
| 02 发明专利 | 去除锗单晶片酸化学腐蚀后表面蓝色药印的方法 | 中国 | ZL 201610437697.8 | 2018-06-05 | 第2950034号 | 云南中科鑫圆晶体材料有限公司、昆明云锗高新技术有限公司 | 何杰、肖祥江、李苏滨、惠峰、李雪峰、柳廷龙、李武芳、周一、杨海超、候振海、囤国超、田东 | 有效专利 |
| 03 发明专利 | 从锗晶片精深加工废酸中回收锗的工艺方法 | 中国 | ZL 201811059018.3 | 2020-11-06 | 第4073593号 | 云南临沧鑫圆锗业股份有限公司、云南东昌金属加工有限公司 | 张俊岭、普世坤、朱知国、谢天敏、张东晟、刘汉保、柳廷龙、钟文、张朋、赵燕、林作亮、滕文 | 有效专利 |
| 04 发明专利 | 从含锗含氟腐蚀液中回收锗的工艺方法 | 中国 | ZL 201710131082.7 | 2019-08-16 | 第3493963号 | 武汉云晶飞光纤材料有限公司 | 普世坤、朱知国、窦辉、李璇、薛丹、吴王昌、李正美、滕文、谢高、杨再磊 | 有效专利 |
| 05 发明专利 | 太阳能电池用锗衬底片加工废液处理工艺 | 中国 | ZL 201110025386.8 | 2014-07-23 | 第983263号 | 云南临沧鑫圆锗业股份有限公司 | 普世坤、何贵 | 有效专利 |
| 06 发明专利 | 一种热解氮化硼坩埚表层镀膜方法 | 中国 | ZL 200510012052.1 | 2009-06-03 | 第503172号 | 云南中科鑫圆晶体材料有限公司 | 高永亮、惠峰、王文军 | 有效专利 |
| 07 实用新型 | VGF锗单晶生长炉芯模具 | 中国 | ZL 201420661118.4 | 2015-01-28 | 第4097673号 | 云南中科鑫圆晶体材料有限公司 | 董汝昆、李武芳、祝永成、包文臻、高云浩、金之生、王朝思 | 有效专利 |
| 08国家标准 | 太阳能电池用锗单晶 | 中国 | GB/T 26072-2010 | 2011-01-10 | 国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会 | 云南临沧鑫圆锗业股份有限公司、南京中锗科技股份有限公司、云南中科鑫圆晶体材料有限公司、北京国晶辉红外光学科技有限公司、厦门乾照光电有限公司 | 惠峰、普世坤、包文东、郑洪、张丽萍、孙小华、苏小平、王向武 | 现行有效 |
| 09国家标准 | 低位错密度锗单晶片腐蚀坑密度（EPD）的测量方法 | 中国 | GB/T 34481-2017 | 2017-10-14 | 国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会 | 云南中科鑫圆晶体材料有限公司、云南临沧鑫圆锗业股份有限公司、中科院半导体研究所 | 惠峰、普世坤、董汝昆 | 现行有效 |
| 10国家标准 | 锗晶体缺陷图谱 | 中国 | GB/T 8756-  2018 | 2018-12-18 | 国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会 | 云南临沧鑫圆锗业股份有限公司、有研光电新材料有限责任公司、云南中科鑫圆晶体材料有限公司、中锗科技有限公司、广东先导稀材股份有限公司、云南东昌金属加工有限公司、有色技术经济研究院有限公司 | 普世坤、惠峰、董汝昆、冯德伸、柯尊斌、尹士平、朱刘、李素青 | 现行有效 |