

西北工业大学凝固技术国家重点实验室 介万奇教授研究团队

西北工业大学凝固技术国家重点实验室介万奇教授研究团队致力于凝固过程的基本原理及其在先进铸造与人工晶体生长中的应用研究。近年来分别在大型结构件整体铸造及典型 II-VI 族化合物半导体晶体生长及其应用技术方面获得国家技术发明二等奖 2 项, 省部级科技成果奖 8 项, 发表学术论文 400 余篇, 出版专著 2 部, 获国家发明专利 23 项。

1 研究方向

- ★ 凝固原理和凝固技术研究
- ★ 大型结构件先进铸造技术及其凝固过程
- ★ 化合物半导体单晶生长及其应用技术

2 代表性成果

大型复杂结构件的先进铸造技术 大型轻合金结构件的铸造是我国工业发展急需的关键技术。在国家重点基础研究发展计划(973)和国防基础科研等项目支持下, 介万奇教授研究团队研制出了大型铝合金和镁合金反重力铸造技术与系列化反重力铸造装备, 铸造的最大铝合金铸件达到 2 t。其中包括多项拥有自主知识产权的新技术发明: (1) 发明了反重力铸造分级加压方法; (2) 建立了反重力铸造浇注系统及工艺设计理论; (3) 开发出数字式控制气路, 解决了工程应用条件下压力精确控制问题; (4) 设计研制了低压、差压、调压、多功能和镁合金专用 5 个系列 30 余台反重力铸造装备。传统工艺铸造的铸件性能只能达到单铸试样的 70%, 而反重力铸造获得的铸件性能与单铸试样的性能相同。该技术解决了歼十战机、战略和战术导弹、鱼雷舱体、卫星框架等 10 余个重点型号关键结构件的制造难题, 成为国家工业领域的一项核心技术。该成果获 2007 年国家技术发明奖二等奖, 研究团队获国防科技工业工艺创新先进集体称号。

反重力铸造技术解决了大型轻合金结构件冶金质量和性能控制问题, 并把铸件尺寸精度由 CT9 级提高到 CT7 级。2011 年以来, 团队又开发出大型石膏型精铸技术, 并发明了大型铝合金铸件热处理过程的反变形矫形技术, 在保持铸件力学性能不降低的前提下, 将铸件的尺寸精度进一步提高到 CT5 级。成为我国航空航天制造领域的又一新技术, 并已开发出多个航空航天大型结构件的铸造工艺, 其中最大铸件轮廓尺寸超过 3 m, 是国际上最大的精铸件。

II-VI 化合物半导体晶体生长原理与技术 在国家自然科学基金杰出青年基金、国家自然科学基金重点项目、国家重大科学仪器设备开发专项的项目支持下, 介万奇教授研究团队将复杂多组元合金的凝固原理应用于 II-VI 族化合物半导体晶体生长过程, 将成分设计和晶体生长新技术相结合, 开发出 CdZnTe (CZT)、CdMnTe、HgMnTe、HgInTe、CdInMnTe 等 5 种化合物半导体的晶体生长技术, 特别是探测器级 CZT 晶体材料的制备技术超越了国外现有技术。CZT 探测材料与器件是天体与深空探测、放射性监控、新一代医用 CT 等医学设备以及工业无损检测设备的核心技术和升级换代产品。

介万奇教授研究团队通过 10 余年的探索, 以常压布里奇曼法晶体生长为基础, 发明了成分补偿与掺杂、对流控制和可控气氛退火等 11 项专利技术, 开发出了探测器级 CZT 晶体及高效率、低成本单晶制备成套技术和关键设备。主要创新性研究工作如下: (1) 设计出探测器级 CZT 晶体的主成分和掺杂元素含量, 发明了阳离子空位缺陷的补偿技术; (2) 设计出合成与生长共用的石英坩埚, 发明了 CZT 晶体的合成技术, 开发出改进的布里奇曼法晶体生长技术及高可靠性的工业化 CZT 晶体生长设备; (3) 提出了 CZT 晶体中点缺陷形成的准化学反应计算模型和计算方法, 基于计算结果发明了两段可控气氛退火改性技术, 解决了阳离子空位和 Te 沉淀的控制难题; (4) 发明了一整套 CZT 晶片工业化加工和无损检测方法。该成果获得 2013 年国家技术发明奖二等奖。

所生长的 CZT 晶体经英国卢瑟福实验室、中核北京核仪器厂等多家国内外权威机构测定表明, CZT 晶体性能优异, 所制备的探测器对²⁴¹Am@59.5 keV 的能谱分辨率优于 3%, 对¹³⁷Cs@662 keV 的能谱分辨率优于 1.5%, 综合

性能达到国际领先水平。本成果现已实现工业化生产。新组建的陕西迪泰克新材料有限公司是国内惟一的一家探测器级 CZT 晶体生产企业。生产的 CZT 晶体与探测器已被中国工程物理研究院、中国原子能研究院、中科院高能物理研究所、西北核技术研究所等多家单位采用,主要应用涉及核科学技术、空间天文观测、安检和医学成像等领域。



图 1 自主研发的化合物半导体晶体生长设备

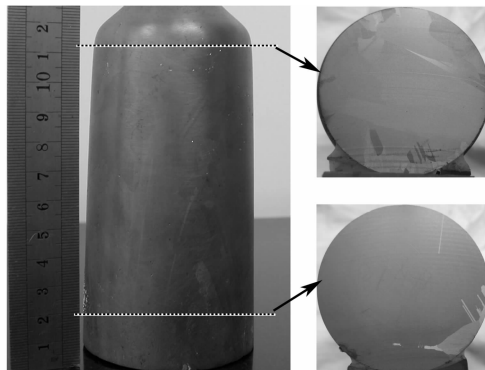


图 2 籽晶法生长的 $\phi 60\text{ mm} \times 160\text{ mm}$ CZT 晶锭

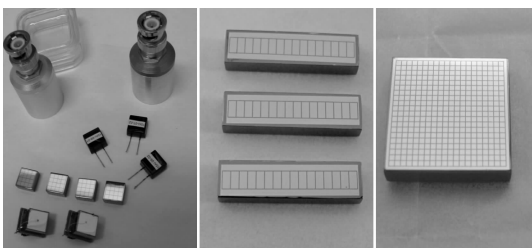


图 3 制备出的不同电极结构 CZT 探测元件

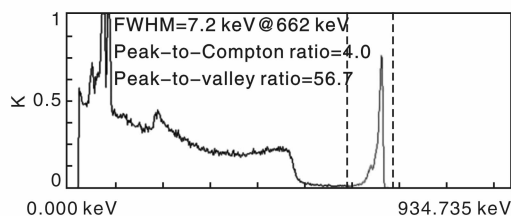


图 4 制备的 CZT 探测器对 ^{137}Cs @ 662 keV 的典型能谱响应曲线

3 人才培养

培养博士研究生 43 名,硕士研究生 48 名。其中全国百篇优秀博士学位论文获得者 1 人、德国“洪堡”基金获得者 1 人、日本“JSPS”基金获得者 1 人,晋升教授 10 人。

4 合作交流

连续 3 年(2011 ~ 2013 年)召集并组织了凝固技术研讨会,邀请了包括美国科学院 John H. Perepezko 院士和瑞士 Michel Rappaz 教授等在内的国内外著名专家学者共同研讨凝固技术前沿进展。与德国柏林晶体生长研究所、英国卢瑟福国家实验室、Surrey 大学、美国 Brookhaven 国家实验室、清华大学、中科院半导体所等国内外著名研究机构展开了紧密合作,推动了晶体生长基础理论和工程技术在 II-VI 族化合物半导体材料与器件方面的应用。

(西北工业大学 王 涛)