浙江省技术发明奖项目公示

**一、项目名称：辐射/多极取向钕铁硼环形磁体产业化关键技术**

**二、项目简介：**

钕铁硼稀土永磁体是一种基础应用的磁性功能材料，在国防科工、社会生活、工业活动等领域中都得到了广泛的应用，具有十分重要的作用。目前，全球近90%钕铁硼永磁体由我国提供，但如辐射/多极取向环形磁体等高附加值产品仍被国外企业垄断。钕铁硼辐射/多极取向环形磁体在电机中应用时，输出信号平稳光滑，输出功率高，充磁方式灵活，电机装配相对简单，在汽车EPS电机、高端数控机床用伺服电机、智能机器人、新能源汽车、变频家电、航空航天等应用领域需求潜力巨大，有望成为新的增长点。辐射/多极取向环形磁体制造技术属近终成型的绿色制造技术，符合国家鼓励的发展方向，符合产业技术发展趋势，是当前稀土永磁产业技术转型升级最有希望的切入点，有望引领行业进步。

但制备辐射/多极取向环形磁体存在诸多的技术难点，例如易开裂、取向困难、难以制备薄壁或高长径比环形磁体等。相关的技术解决方案长期以来被国外企业视为核心机密严格保密。本项目发展了新型取向成型技术、热变形织构化技术等优化环形磁体微观结构一致性和均匀性，采用低氧工艺、双合金工艺与晶界扩散技术等，获得性能优异的环形磁体。项目开发的辐射和多极取向环形磁体的磁性能指标达到国际先进水平，开发出高剩磁和高矫顽力辐射和多极取向环形磁体，满足高端伺服、EPS等领域应用对辐射和多极取向环形磁体磁性能的要求。主要的科技创新点如下。

1. 辐射/多极取向钕铁硼环形磁体制备技术
2. 热压取向成型装备与产业化示范线
3. 钕铁硼磁体组织结构调控技术

本项目实施以来获得国家发明专利12项，项目成果在宁波金鸡强磁股份有限公司进行产业化应用，近三年新增销售额1500.91万元，利润231.39万元，税收51.44万元。本项目通过技术和装备研发与产业化应用推广，掌握了关键制备技术，打破了发达国家在辐射环形磁体产业化技术的垄断，获得了显著的经济和社会效益。

**三、第三方评价：**

1. 检测报告
2. 高性能辐射取向环形磁体

报告编号NQTM/20121106-002, 室温磁性能：Br=13.13 kG，Hcj=14.97 kOe，(BH)max=42.6 MGOe

1. 无重稀土高矫顽力磁体

报告编号：NQTM/20150416-002, 室温磁性能：Br=13.45 kG，Hcj=20.3 kOe，(BH)max=45.7 MGOe

1. 磁体耐蚀性

报告编号CJcc2012-1106，φ5.90×5.40mm试样放置于130℃，95%RH，2.6atm不饱和控制模式环境下处理240小时后，实验样品重量损失0.1mg/cm2

1. 高性能热变形磁体

报告编号:NQTM/20110922-002，室温磁性能：Br=14.13 kG，Hcj=15.43 kOe, (BH)max=50.9 MGOe

1. 混合稀土高性能磁体

报告编号：NQTM/20151113-004,室温磁性能：Br=13.49 kG, Hcj=12.17 kOe, (BH)max= 44.7 MGOe

1. 验收意见

项目执行期间获得国家高技术发展计划(“863”计划，项目编号：2010AA03A402，立项时间2010年12月)和国家科技部国际合作项目（项目编号：2010DFB53770，立项时间：2011年1月）等项目的支持。其中“863”计划项目已于2013年3月通过科技部高技术研究发展中心组织的验收，验收意见：“课题……阐明了热压/热变形磁体的织构形成机制，制备的轴向永磁体最大磁能积50.9 MGOe，内禀矫顽力15.4 kOe，利用自行研制的快淬磁粉制备的热压环形磁体最大磁能积38.3 MGOe，内禀矫顽力23 kOe。研制了规模化热压和热变形磁体装备，建成了具备年产10万件生产能力的热压磁体规模化生产示范线……”

国际合作项目于2014年5月通过由科技部国际合作司委托宁波市科技局组织的项目验收，验收意见：“……(1)研发了真空热压装备，建立了热压磁体生产示范线；(2)研制的多极环形磁体磁能积达到50MGOe，多极环形磁体表面磁通的不均匀度降低到5%以下，并将材料的收得率提高至85%以上；(4)开发了不同规格的热变形环形磁体，提供给清华大学、中科院宁波工研院先进制造所等单位使用，满足了用户的要求……”

**四、直接经济效益、推广应用情况和社会效益**

**1．完成单位直接经济效益（单位：万元）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 单位名称 | 2015年 | 2016年 | 2017年 |
| 新增销售收入 | 新增税收 | 新增利润 | 新增销售收入 | 新增税收 | 新增利润 | 新增销售收入 | 新增税收 | 新增利润 |
| 宁波金鸡强磁股份有限公司 |  370.95  | 13.99  | 39.46  |  467.26  | 14.82  |  75.62  |  662.69  | 22.63 |  116.31  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 合 计 |  370.95  | 13.99  | 39.46  |  467.26  | 14.82  |  75.62  |  662.69  | 22.63 |  116.31  |

**2．推广应用情况和经济效益（非完成单位）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 应用单位名称 | 应用单位联系人、电话 | 应用时间 | 应用方式 | 所应用知识产权序号 | 转让或许可金额(万元) | 新增销售收入(万元) | 新增税收(万元) | 新增利润(万元) |
| 2015年 | 2016年 | 2017年 | 2015年 | 2016年 | 2017年 | 2015年 | 2016年 | 2017年 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 合计：  |  |  |  |  |

**3．社会效益和间接经济效益**

本项目通过开展技术发明创新，突破了辐射/多极取向环形磁体制备技术瓶颈，制备出了磁性能、使役性能达到国际先进水平的辐射/多极取向环形磁体，取得了一批具有国际领先水平和明确应用前景的创新性研究成果，发展了具有自主知识产权的永磁新材料和新技术。项目通过产业化应用推广，掌握了一系列高附加值环形磁体的绿色近终成型制造技术并获得相关核心专利，大幅提高了稀土资源的利用效率，优化了我国稀土永磁产业格局，促进了我国稀土永磁产业的健康可持续发展。项目研发的辐射/多极取向环形磁体已经实现商业生产，满足了高技术领域及尖端技术领域需求，打破了发达国家对高附加值辐射/多极取向环形磁体产业化技术的垄断，提升了我国在高附加值关键产品方面的研究水平及生产能力，优化了稀土永磁材料的产业结构并推动其可持续发展。项目已培养博士4名、硕士6名、博士后2 名、工程师2 名，为企业培养和输送技术骨干5 名，为增强国际竞争能力提供了人才保障。

**五、主要完成人员情况**：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **排名** | **姓名** | **职称、职务** | **现从事专业** | **工作单位** | **二级单位** | **完成单位** | **对本项目技术创造性贡献** |
| 1 | 闫阿儒 | 研究员/主任 | 磁性材料 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 材料技术所 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 提出高性能辐射/多极取向环形磁体制备技术与装备研发思路并指导研发完成 |
| 2 | 方以坤 | 教授级高级工程师 | 磁性材料 | 钢铁研究总院 | 功能材料研究所 | 钢铁研究总院 | 作为骨干参与完成磁体组织结构调控技术的研发工作 |
| 3 | 胡元虎 | 经济师/董事长 | 磁性材料 | 宁波金鸡强磁股份有限公司 |  | 宁波金鸡强磁股份有限公司 | 作为骨干完成辐射/多极取向环形磁体制备技术和装备的研发工作，负责完成产业化示范线建设和环形磁体的生产应用推广工作 |
| 4 | 陈仁杰 | 研究员 | 磁性材料 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 材料技术所 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 作为骨干负责完成辐射/多极取向环形磁体制备技术和磁体组织结构调控技术的研发工作 |
| 5 | 林旻 | 高级工程师 | 磁性材料 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 材料技术所 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 作为骨干完成辐射/多极取向环形磁体制备技术和装备的研发工作 |
| 6 | 尹文宗 | 高级工程师 | 磁性材料 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 材料技术所 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 作为骨干参与完成磁体组织结构调控技术的研发工作 |

**六、完成人合作关系说明**

闫阿儒，项目排名第一，中国科学院宁波材料技术与工程研究所项目负责人，项目工作时间2006年7月-2015年12月，提出辐射/多极钕铁硼环形磁体制备技术与装备研发思路并指导研发完成，主要负责辐射/多极钕铁硼环形磁体关键技术的研发工作和相关技术产业化工作。共同获得国家发明专利授权10项ZL200710307577.7、ZL200710177080.8、ZL200910101105.5、ZL200910096931.5、ZL201110200436.1、ZL201110386059.5、ZL201110390899.9、ZL201110371635.9、ZL201410251254.0、ZL201410725480.8。

方以坤，项目排名第二，钢铁研究总院项目骨干，项目工作时间2010年12月-2015年12月，作为骨干参与完成钕铁硼磁体组织结构调控技术研发工作，共同获得国家发明专利授权1项ZL201310022669.6。

胡元虎，项目排名第三，宁波金鸡钕铁硼强磁材料股份有限公司项目负责人，项目工作时间2006年7月-2015年12月，作为骨干完成辐射/多极取向环形磁体制备技术和装备的研发工作，负责完成产业化示范线建设和环形磁体的生产应用推广工作，共同获得国家发明专利授权3项ZL200910101105.5、ZL200910096931.5、ZL201410674356.3。

陈仁杰，项目排名第四，中国科学院宁波材料技术与工程研究所项目骨干，项目工作时间2006年7月-2015年12月，作为骨干负责完成辐射/多极钕铁硼环形磁体制备技术和磁体组织结构调控技术的研发工作，共同获得国家发明专利授权6项ZL200710177080.8、ZL201110386059.5、ZL201110390899.9、ZL201110371635.9、ZL201410251254.0、ZL201410725480.8。

林旻，项目排名第五，中国科学院宁波材料技术与工程研究所项目骨干，项目工作时间2006年7月-2015年12月，作为骨干参与完成辐射/多极取向环形磁体制备技术和装备的研发工作，共同获得国家发明专利授权7项ZL200710307577.7、ZL200710177080.8、ZL200910101105.5、ZL200910096931.5、ZL201110200436.1、ZL201110390899.9、ZL201110371635.9。

尹文宗，项目排名第六，中国科学院宁波材料技术与工程研究所项目骨干，项目工作时间2010年6月-2015年12月，作为骨干参与完成磁体组织结构调控技术研发工作，共同获得国家发明专利授权5项ZL201110386059.5、ZL201110390899.9、ZL201110371635.9、ZL201410251254.0、ZL201410725480.8。

**七、主要完成单位情况**：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **排名** | **单位名称** | **对本项目主要技术发明和推广应用的支撑作用情况** |
| 1 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 负责完成辐射/多极钕铁硼环形磁体制备技术和磁体组织结构调控技术的研发工作，合作完成热压成型装备研制与产业化示范线建设工作 |
| 2 | 钢铁研究总院 | 合作完成辐射/多极取向环形磁体制备技术研发和钕铁硼磁体组织结构调控技术研发工作 |
| 3 | 宁波金鸡强磁股份有限公司 | 合作完成辐射/多极取向环形磁体制备技术和装备的研发工作，负责完成产业化示范线建设和环形磁体的生产应用推广工作 |

**八、推荐单位意见**

辐射/多极取向钕铁硼环形磁体是稀土永磁材料中具有高附加值的产品，被广泛应用于航空航天、新能源汽车、高端伺服电机等器件中。项目的主要科技创新点有：

1. 辐射/多极取向钕铁硼环形磁体制备技术

2. 热压取向成型装备与产业化示范线

3. 钕铁硼磁体组织结构调控技术

通过项目的实施，开发了旋转取向成型技术，阐明了热变形辐射磁环织构形成机理，发展了预变形技术并优化模具设计，开发出达到和领先于国际先进水平的辐射/多极取向钕铁硼环形磁体并开展产业化应用与推广。成功研制出钕铁硼热压成型装备，发展了自动化连续式产业化装备与技术，建立了国内首条具有年产十万件生产能力的环形磁体产业化示范线。

本项目实施以来获得国家发明专利12项，项目成果在宁波金鸡强磁股份有限公司进行产业化应用，近三年新增销售额1500.91万元，利润231.39万元，税收51.44万元。本项目通过技术和装备研发与产业化应用推广，掌握了关键制备技术，打破了发达国家在辐射/多极取向环形磁体产业化技术的垄断，获得了显著的经济和社会效益，有效推动了我国稀土永磁材料产业结构的优化升级。

经审阅材料，内容真实有效，相关栏目填写符合要求，其他合作者知情同意证明等材料齐全。对照浙江省技术发明奖条件，现将该项目申报奖项进行公示。

**九、主要知识产权证明目录**（不超过12件）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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** | **权利人** | **发明人（培育人）** |
| 发明专利 | 一种多极磁环的制造方法 | 中国 | ZL200910101105.5 | 2012.05.23 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所、宁波金鸡钕铁硼强磁材料有限公司 | 胡元虎、林旻、闫阿儒、李东、张元宏、沈是茂 |
| 发明专利 | 一种真空热压机 | 中国 | ZL200710307577.7 | 2010.12.15 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所、钢铁研究总院 | 李东、李卫、潘伟、王会杰、闫阿儒、林旻 |
| 发明专利 | 提高热压 / 热变形辐射取向钕铁硼永磁环性能及其轴向均匀性的方法 | 中国 | ZL201110371635.9 | 2015.09.09 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 唐旭，陈仁杰，尹文宗，林旻，李东，闫阿儒 |
| 发明专利 | 各向异性纳米晶复相致密化块体钕铁硼永磁材料的制备方法 | 中国 | ZL201110386059.5 | 2014.07.09 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 陈仁杰、唐旭、唐鑫、尹文宗、李东、闫阿儒 |
| 发明专利 | 提高纳米晶钕铁硼永磁材料性能的方法 | 中国 | ZL201110390899.9 | 2015.06.10 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 唐旭，陈仁杰，尹文宗，林旻，李东，闫阿儒 |
| 发明专利 | 钕铁硼永磁磁体及其制备方法 | 中国 | ZL201410251254.0 | 2017.06.23 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 王泽轩、陈仁杰、尹文宗、李东、闫阿儒、唐旭、靳朝相 |
| 发明专利 | 稀土永磁材料及其制备方法 | 中国 | ZL201410725480.8 | 2017.07.04 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 靳朝相、尹文宗、陈仁杰、剧锦云、唐旭、王泽轩、李东、闫阿儒 |
| 发明专利 | 一种稀土永磁材料成型设备以及成型方法 | 中国 | ZL201410674356.3 | 2017.02.22 | 宁波金鸡钕铁硼强磁材料有限公司 | 王会杰，胡元虎，张元宏，王涌，陈咪珍 |
| 发明专利 | 高性能辐向热压磁环的制备方法 | 中国 | ZL200710177080.8 | 2012.01.11 | 钢铁研究总院、中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 李卫、王会杰、林旻、闫阿儒、陈仁杰、刘兴民、李安华、潘伟 |
| 发明专利 | 热压炉的压制导向结构 | 中国 | ZL200910096931.5 | 2012.05.30 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所、宁波金鸡钕铁硼强磁材料有限公司 | 胡元虎、林旻、闫阿儒、李东、张元宏、沈是茂 |
| 发明专利 | 一种连续式液压成型设备及其自动控制方法 | 中国 | ZL201110200436.1 | 2013.11.20 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 林旻、徐佳琳、闫阿儒、李东 |
| 发明专利 | 强磁材料动态微磁结构观测装置及观测方法 | 中国 | ZL201310022669.6 | 2015.3.25 | 钢铁研究总院 | 方以坤，李卫，孙威，朱明刚，郭朝辉，潘伟 |

**十、知情同意证明**

