

陕西省科学技术进步奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	SiC 陶瓷基自封闭功能梯度材料的性能与组织结构协同设计与控制
主要完成人	蔡艳芝, 尹洪峰, 成来飞, 马军强, 乔明涛, 周媛; 蔚文绪; 郭思钰
主要完成单位	西安建筑科技大学; 西北工业大学; 洛阳科创新材料股份有限公司

二、提名意见（适用于单位提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input checked="" type="checkbox"/> 二等奖 <input type="checkbox"/> 三等奖
提名意见： <p>本项目研发了一种仿树木年轮三维闭锁结构 FGM 新技术，创新的闭环层状结构突破了传统的平直层板结构，具防止内应力导致裂纹扩展、在受力过程保持结构完整、屏蔽环境干扰和侵蚀的突出优势；研发出独石纤维、麻花纤维、梯度纤维等多种自封闭梯度结构技术，闭锁结构使电磁屏蔽效率由 35 增至 49dB。创建了锁定浸渍目标的局部浸渍新技术，解决了烧结性能差异较大的两相组成的 FGM 不同层无法均匀致密化的技术瓶颈，采用定位浸渍技术使 Ti3SiC2/SiC FGM 的三点弯曲强度提升 85.5%、断裂韧性提升 21.6%、1400℃氧化 20h 增重降低 45%。提出了界面/表面改性新理论。基于 B4C 中 B 原子置换碳材料中 C 原子形成有序碳六角层面理论，构建 B4C 化学改性碳界面，使 B4C-C 桥接 CNT 与 SiC，形成理想的 CNT-SiC 界面结合，使纳米压痕断裂韧性由 2.80 增至 9.96MPa·m^{1/2} 硬度由 2.83 增至 8.58GPa。不同于酸化改性破坏 CNT 结构，B4C 化学改性使碳晶体结构更完善。SiC 纳米纤维多孔膜表面包覆改性实现了由表面反射为主向内部吸收为主的屏蔽机理转变。</p> <p>项目获授权发明专利 32 项、实用新型专利 15 项；发表论文 268 篇（SCI 检索论文 116 篇），他引共计 4374 次。创新成果以专利转让和产学研合作在新材料研发中推广应用，已创造经济效益 2423 万元。</p> <p>该成果创新特别突出，经济效益和社会效益显著，各项技术指标达到国际领先水平。因此，提名该项目为陕西省科技进步二等奖。</p>			
说明：省科学技术进步奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖”的评审落选项目不再降格参评三等奖。项目组与提名单位沟通后，做出提名等级意见；提名项目正式提交后，提名等级建议不得变更。 软科学标准计量科普类项目请勾选“二等奖”或者“三等奖”。			

三、项目简介

本项目属于新型陶瓷复合材料领域。

SiC 基功能梯度材料 (FGM) 要实现和满足现代航空航天等高技术领域在极限环境下的特殊、多样的功能和性能需求, 必须攻克“层间分层、不同层间难以均匀致密化、碳纳米管 (CNTs) 在 SiC 基体中分散性和结合性差”三大技术瓶颈。依托国家自然科学基金面上项目 (项目编号 51972261)、国家自然科学基金青年项目 (项目编号 51302206)、超高温结构复合材料国防科技重点实验室创新基金 (项目编号 6142911020208) 和先进耐火材料国家重点实验室开放课题 (项目编号 SKLAR201901), 历经多年攻关, 研发了一种仿树木年轮的三维闭锁结构 FGM 新技术, 创建了 FGM 性能与组织结构协同设计与控制理论体系, 极大提升了 FGM 在极限环境下的性能。本项目取得了以下理论和技术创新:

(1) 创建了仿树木三维年轮结构的自封闭层状梯度新结构

创新的螺旋式三维闭环层状结构突破了目前国内外现有的平直层板结构, 具有防止内应力导致裂纹扩展、使材料在受力过程保持结构完整、屏蔽环境干扰和侵蚀的突出优势; 研发出纤维独石、纤维麻花、梯度纤维等多种自封闭梯度结构技术, 复杂的多层次闭环结构使电磁屏蔽效率由 35 提高到 49dB。

针对闭环层状结构梯度材料的成型, 发明了一种温等静压成型技术及其装置, 结构简单成本低廉, 传统的等静压成型设备结构复杂且昂贵, 传统等静压成型需要抽真空且不适用于有气体排出的成型过程, 而温等静压成型技术克服了这些不足。

超柔的预制体是螺旋式闭环结构成型的前提条件, 发明了定向加压过滤技术制备柔性纸基中间体的制备方法。一种定向加压过滤技术及其装置, 具有相对于常规真空抽滤优越得多的固体截留能力和快速过滤能力。

(2) 创建了锁定浸渍目标的局部浸渍新技术

该项技术解决了目前国内外现有浸渍技术不能实现局部浸渍的技术瓶颈, 解决了烧结性能差异较大的两相组成的梯度材料不同层间无法均匀致密化的技术瓶颈, 采用定位浸渍技术使 1600°C 烧结 $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ FGM 的三点弯曲强度提升 85.5%、断裂韧性提升 21.6%、于 1400°C 氧化 20h 增重降低 45%。

针对定位浸渍技术, 发明了一种全能型定向加压浸渍装置, 既可局部浸渍, 也可全面浸渍; 既可定向浸渍, 也可全方位浸渍; 既可真空浸渍, 也可加压浸渍; 既可常温浸渍, 也可高温浸渍; 既可一个样品定向加压浸渍, 也可多个样品同时同效率定向加压浸渍。该装置突破了目前浸渍装置为单一制备功能的技术缺陷, 尤其是创新了定位浸渍和定向浸渍这两项新技术。

(3) 提出了界面改性和表面改性新理论,解决了 CNTs 的分散性和结合性难题

采用 CNT 纸预制体结合 SiC 原位生成实现其在 SiC 中的均匀分布。基于 B₄C 中 B 原子置换碳材料中 C 原子形成有序碳六角层面理论,构建 B₄C 化学改性树脂碳中间界面,使 B₄C-C 复合体桥接 CNT 与 SiC 基体,形成理想的 CNT-SiC 界面结合,使纳米压痕断裂韧性由 2.80 提高到 9.96 MPa m^{1/2} 硬度由 2.83 提高到 8.58GPa。不同于常规酸化改性破坏 CNTs 结构,以 B₄C 化学改性碳界面层不损伤 CNTs 反而使碳晶体结构更完善。提出了 SiC 纳米纤维多孔膜表面包覆改性新理论,实现了屏蔽机理由表面反射为主向内部吸收为主的转变。

研发的 SiC 基梯度复合材料能适用极端复杂严苛环境下的服役条件,具高的强度和韧性 (Ti₃SiC₂/SiC FGM 的三点弯曲强度为 485 MPa, 三点弯曲断裂韧性为 8.23 MPa m^{1/2})、优良的高温抗氧化性能 (Ti₃SiC₂/SiC FGM 经 1400°C 氧化 20h 增重率仅为 12.9%, CNT 纸/SiC 自封闭 FGM 经 1400°C 氧化 20h 后三点弯曲强度几乎无衰减)、优良的电磁屏蔽功能 (Ti₃SiC₂/SiC FGM 的屏蔽效率为 52 dB、CNT 纸/SiC 自封闭 FGM 的屏蔽效率为 50 dB)、高强宽频吸波功能 (SiC 纳米纤维膜包覆改性 CNT 纸/SiC 自封闭 FGM 在 X 波段的反射损耗值为 -55dB, 有效带宽几乎覆盖整个 X 波段); 创建了 FGM 性能与组织结构协同设计与控制的理论体系,实现了 FGM 的低成本制备。

该项目形成的 FGM 不仅具有在高温结构材料领域很好的应用前景,而且具备在电磁干扰屏蔽领域的潜在功能优势,对于提升我国在特殊的、复杂和极限服役环境的材料领域的竞争力具有积极意义。对我国陶瓷基复合材料尤其是陶瓷梯度复合材料的开发应用具有重要的战略意义和示范引领作用。

依托本项目,各位完成人作为第一发明人或唯一发明人共获授权发明专利 32 项、实用新型专利 15 项;以第一作者/通讯作者共发表论文 268 篇 (SCI 检索论文 116 篇),他引共计 4374 次。10 篇代表性成果中包括 6 篇发明专利和 4 篇行业公认顶级期刊论文。加拿大多伦多大学的 Tobin Filleter 教授、中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家实验室徐敬军研究员、俄罗斯联邦托木斯克理工大学 E.B. Kashkarov 教授、厦门大学的姚荣迁教授、印度理工学院 Siddhartha Roy 教授、南京理工大学张合教授、中南大学肖鹏教授、南京航空航天大学周储伟教授、韩国铁路研究院新交通研究所 Byeong-Choon Goo 高工等国内外知名学者在国际权威期刊的论文多次引用并正面评价本项目论文成果。本项目的理论与技术创新成果其中 3 项发明专利转让给西安鑫垚陶瓷复合材料股份有限公司并在该公司得到良好应用;并以产学研合作的模式在洛阳科创新材料股份有限公司的新材料研究开发中推广应用,已给该公司创造经济效益共 2423 万元,并创造了良好的社会效益。本项目共培养博士研究生 2 名、硕士研究生 14 名、青年教师 2 名 (完成了由讲师到副教授和由助理工程师向工程师的职称晋升)。

四、客观评价

1 项目科技查新

根据对比分析,查新结论为:国内外未见 SiC 陶瓷基材料仿树木三维年轮结构闭锁层状梯度结构的文献报道;国内外未见低成本温等静压成型技术的文献报道;国内外未见定向加压过滤技术的文献报道;国内外未见定位浸渍和定向浸渍技术的文献报道;国内外未见 B₄C 化学改性碳中间界面理论的文献报道。

2 获奖

该成果获 2025 年陕西高校科学技术奖二等奖,获 2020 年陕西高校科学技术奖二等奖,获 2019 年西安建筑科技大学科学技术进步奖二等奖,获 2016 年西安建筑科技大学科学技术奖三等奖。该项目创新成果所发表论文“Electrical conductivity and electromagnetic shielding properties of Ti₃SiC₂/SiC functionally graded materials prepared by positioning impregnation”获西安市第十八届自然科学优秀学术论文奖一等奖。

3 国内外同行学术性评价

1) 评价本项目创建的“定位浸渍技术”

评价 1: 印度新德里理工大学 Prabhat Ranjan 教授在 ICCEMME 2021 国际学术会议和 Journal of Physics: Conference Series 2007 (2021) 012068 如此评价“Cai et al. [99] prepared Ti₃SiC₂/SiC FGMs using hot pressing impregnation that is a **unique local impregnation method** targeting at layers and exhibit dull sintering characteristics. This in turn **improves the density due to positioning impregnation** and hence, the density of the **developed** hot pressed FGM at 1600°C increases from 3.47 to 3.79 g/cm³. On the other hand, a decrease in open porosity from 11.2% to 1.98% is observed. Furthermore, the oxidation resistance of the FGM that was hot pressed at 1600°C and position impregnated was **appreciably improved.**”

翻译:“Cai 等[99]采用热压浸渍法制备 Ti₃SiC₂/SiC FGM,这是一种**独特的**针对具钝化烧结特征的层的**局部浸渍方法**。定位浸渍提高了密度,因此,开发的 1600°C 热压 FGM 密度从 3.47 g/cm³ 提高到 3.79 g/cm³。另一方面,开气孔率从 11.2%降至 1.98%。而且,经 1600°C 热压和定位浸渍处理后,FGM 的抗氧化性能**显著提高**。”

评价 2: 厦门大学的姚荣迁教授在 Journal of Alloys and Compounds 869 (2021) 159297 中如此评价“Several **efforts** made previously to **promote the development** of processing technology in SiC PDCs were **successful** to a certain extent (such as **pressing/positioning impregnation method**, polymer-derivation method and spark plasma sintering combined PDC route) [12–16].

翻译:“此前**推动** SiC 聚合物转化陶瓷制备技术发展的一些努力(如**加压/定位浸渍法**、聚合物衍生法、火花等离子烧结复合聚合物转化陶瓷法)均取得了一定程度的**成功** [12–16]”。

评价 3: 俄罗斯联邦托木斯克理工大学 E.B. Kashkarov 教授等在 Journal of the European Ceramic Society 42 (2022) 2062–2072 如此评价:“Recently, Cai et al. **developed** a method of positioning impregnation of hot-pressed gradient powder layers.

This method led to the fabrication of an electrically conductive $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ FGM with electromagnetic shielding properties. [41,42].

翻译：“最近 Cai 等开发了一种对于热压梯度粉末的定位浸渍技术。该技术导致了一种具有电磁屏蔽功能的导电 $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ 梯度材料的成功制备[42,43]”。

评价 4：南京理工大学张合教授在 Adv. Eng. Mater. 2022, 24, 2101511 中如此评价：“Cai et al. prepared $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ functionally graded materials (FGMs) by hot-pressing/positioning impregnation. These materials **can be used for excellent** electromagnetic shielding or electromagnetic absorption.[13]

翻译：“Cai 等通过热压/定位浸渍法制备了 $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ 功能梯度材料。这种材料可用于优异的电磁屏蔽或吸波材料[13]”。

评价 5：中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家实验室徐敬军研究员等在 ACS Appl. Electron. Mater. 2023, 5, 1558–1565 如此评价：“Cai et al.¹⁸ prepared $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ functionally graded material by the pressing/positioning impregnation process, and the results indicated that the as-prepared material exhibited **excellent** electromagnetic shielding effectiveness in the frequency range of 8.2–12.4 GHz.”。

翻译：“Cai 等¹⁸采用热压/定位浸渍技术制备了 $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ 功能梯度材料，所制备的材料在 8.2–12.4 GHz 频率范围展示了优异的电磁屏蔽效果”。

2) 评价本项目提出的“界面改性理论及技术”及“低成本热压成型技术”

评价 1：中南大学肖鹏教授在 J. Ceram. Sci. Technol., 08(2) (2017) 213-222 中如此评价：“Cai et al.¹¹ used a disk-on-disk-type laboratory-scale dynamometer (MM-1000) to test the friction properties of C/C-SiC mated to itself. It was found that the **fade** of the COF in seawater conditions was **significantly reduced** when B_4C filler was introduced into the C/C-SiC composite”

翻译：“Cai 等¹¹采用盘对盘式实验室规模测试仪(MM-1000)来测试 C/C-SiC 自身匹配的摩擦性能。在 C/C-SiC 复合材料中加入 B_4C 填料极大地阻止了 COF 在海水腐蚀条件下的衰退”。

评价 2：南京航空航天大学周储伟教授在 Composites Science and Technology 153 (2017) 48-61 中如此评价“Cai et al. [13] **significantly improved** the flexural strength of NP C/C through adding SiC and B_4C fillers in graphitic matrix”。

翻译：“Cai 等[13]通过在石墨基体中加入 SiC 和 B_4C 填料，显著提高了 NP C/C 的抗弯强度”。

评价 3：韩国铁路研究院新交通研究所 Byeong-Choon Goo 高工在 Materials and Manufacturing Processes 0(2015)1–10 中如此评价“Cai et al. [5] added flake-shaped graphite particles in phenolic resin, which enriched carbon content in interfacial layers and **increased** the toughness of C/C-SiC frictional material. They also demonstrated **how hot-pressure curing** before pyrolysis **could** increase the density of C=C-SiC material and save manufacturing costs [6].

翻译：“蔡等[5]在酚醛树脂中添加片状石墨丰富了界面层的碳含量并提高了材料的韧性。他们还展示了在热解前如何热压固化成型可提高密度降低成本[6]。

五、应用情况

1. 应用情况（限 2 页）

按照“边攻关、边试验、边应用、边推广”的思路，理论与技术创新成果已在西安鑫垚陶瓷复合材料股份有限公司和洛阳科创新材料股份有限公司新材料研究开发中全面推广应用，成效显著。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人
1	洛阳科创新材料股份有限公司	定位浸渍技术；自封闭梯度特殊结构的构筑方法；定向加压过滤/浸渍技术；表面包覆技术	耐火预制件的抗侵蚀致密涂层；梯度结构陶瓷窑具；耐火材料表面抗氧化/抗侵蚀涂层	2015 年 9 月—至今	马军强
2	西安鑫垚陶瓷复合材料股份有限公司	定向加压过滤/浸渍技术；温等静压成型技术	“一种复合气凝胶电极材料、制备方法及其浸渍装置”、“一种准温等静压成型方法及模具”、“一种碳纳米管增强 SiC 基纳米复合材料膜的制备方法”等三项专利转让	2022 年 10 月—至今	孙翔

（1）在洛阳科创新材料股份有限公司的应用

自 2015 年 9 月—2018 年 9 月间，专利“一种 $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ 功能梯度材料的制备方法”是由西安建筑科技大学蔡艳芝教授团队和洛阳科创新材料股份有限公司的马军强工程师团队以产学研合作的形式研发的。该专利中的关键技术“定位浸渍技术”应用于制备耐火预制件的抗侵蚀致密涂层，显著提高了该复合材料的抗侵蚀能力。这种局部浸渍技术也是一种低成本技术，在获得高性能的同时显著降低成本。相关产品增加销售收入约 63 万元，取得显著的经济效益和良好的社会效益。

自 2019 年 1 月—2021 年 12 月间，“一种自封锁层状 CNT 纸/SiC 梯度纳米复合材料及制备方法”是由西安建筑科技大学蔡艳芝教授团队和洛阳科创新材料股份有限公司的马军强工程师团队以产学研合作的形式研发的。陶瓷梯度材料的制备技术应用于陶瓷窑具的制备，开发的梯度结构陶瓷窑具产品显著提高了抗热应力损伤能力，具有优良的抗热震性、抗高温氧化性、抗断裂韧性和抗侵蚀性。相关产品增加销售收入约 57 万元，取得了显著的经济效益和良好的社会效益。

自 2022 年 3 月—至今，专利“一种自封闭层状纤维吸波材料及制备方法”是由西安建筑科技大学蔡艳芝教授团队和洛阳科创新材料股份有限公司的马军强工程师团队以产学研合作的形式研发的。该专利中的关键技术“表面包覆技术”是一种低成本的材料表面改性技术。该技术应用于耐火材料表面抗氧化涂层和抗侵蚀涂层制备。耐火材料表面包覆改性后高温抗氧化性能和抗渣侵蚀能力得到极大地提高。相关产

品增加销售收入约 2303 万元，取得显著的经济效益和良好的社会效益。

综上，此 3 项专利技术的合作研发为洛阳科创新材料股份有限公司增加销售收入约 2423 万元。取得了显著的经济效益。本单位应用西安建筑科技大学的研究成果“陶瓷基自封闭功能梯度材料的性能与组织结构的协同设计与控制”，促进了钢铁行业的高质量发展，增强了市场竞争力，取得了非常显著的经济效益和社会效益，对行业的技术进步和产业结构优化升级作用显著。

（2）在西安鑫垚陶瓷复合材料股份有限公司的应用

“一种复合气凝胶电极材料、制备方法及其浸渍装置”、“一种准温等静压成型方法及模具”、“一种碳纳米管增强 SiC 基纳米复合材料膜的制备方法”等三项专利，自 2022 年 10 月起转让给西安鑫垚陶瓷复合材料股份有限公司，由其进行工程化验证和产业化实施，在高性能刹车、宇航与深空探测、热防护三大应用领域发挥了巨大作用。三项专利涉及碳陶刹车盘、镜筒、支架、舵、翼等产品构件，大大提高了各类产品的品质性能，解决了陶瓷基复合材料产业化过程中的关键问题。

专利中的关键技术“复合气凝胶制备技术”在空间轻质结构和飞行器的多孔轻薄强韧陶瓷耐热结构复合材料的开发中得到充分应用。该技术构建了一种碳陶轻薄多孔骨架结构，强度高韧性好，显著降低了热导率，显著提高了隔热效果。专利“一种准温等静压成型方法及模具”中的关键技术“准温等静压成型技术”在陶瓷基航空航天复合材料的致密化成型中得到充分应用。该技术尤其适用于在成型过程中因化学反应产生气体的复合材料成型，在有序释放小分子气体的同时有效减小了产品的气孔率增加了致密度，且获得的产品密度均匀。采用该技术制造的碳陶复合材料产品强度高、韧性好、热导率高。专利“一种碳纳米管增强 SiC 基纳米复合材料膜的制备方法”和专利“一种复合气凝胶电极材料、制备方法及其浸渍装置”中的关键技术组合“定向加压浸渍-过滤”技术在飞机用高性能碳陶复合材料的开发中得到充分应用。采用“定向加压浸渍-过滤”技术将微纳改性填料引入碳陶复合材料中，用于飞机的发动机舵、翼、飞机刹车盘、使其抗侵蚀性、耐候性、抗冲刷性、抗磨损性和抗烧蚀性均得到极大提高。在高性能刹车领域，碳陶刹车盘具有强度高、成本低、静摩擦系数高、湿态/盐雾下动摩擦系数基本不衰减等显著特点；在宇航与深空探测领域，镜筒、支架等产品构件具有轻量化、高强、高模、延伸性好、线膨胀系数小等特点；在舵、翼等方面，具有轻量化、耐超高温（1600℃）、抗冲刷性等特点。自专利项目实施以来，该公司相关产品增强了产品的竞争力，促进了行业发展，助力经济效益提升，并取得良好的社会效益。

因此，本项目的理论与技术创新成果在西安鑫垚陶瓷复合材料股份有限公司和洛阳科创新材料股份有限公司的新材料研究开发中推广应用，已经创造良好的经济效益和社会效益。

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

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	发明专利	一种自封闭层状纤维吸波材料及制备方法	中国	ZL202210815405.5	2023年02月28日	5753420	西安建筑科技大学；洛阳科创新材料股份有限公司	蔡艳芝；李阳；黄少华；刘婷婷；余海铭；王钰涵；陈登鹏；胡忠义；蔚文绪；马军强
2	发明专利	一种 Ti ₃ SiC ₂ /SiC 功能梯度材料的制备方法	中国	ZL201510996728.9	2016年09月14日	2235599	西安建筑科技大学；洛阳科创新材料股份有限公司	蔡艳芝；尹洪峰；王晓东；蔚文绪；马军强
3	发明专利	一种自封锁层状 CNT 纸 /SiC 梯度纳米 复合材料及制备方法	中国	ZL201910114419.2	2021年07月16日	4554247	西安建筑科技大学；洛阳科创新材料股份有限公司	蔡艳芝；王源；李璇；王楠；任璇璇；蔚文绪；马军强

4	发明专利	一种准温等静压成型方法及 模具	中国	ZL202110552411.1	2022年06月14日	5234699	西安建筑科技大学	蔡艳芝; 任璇璇; 李璇; 李阳; 黄少华; 刘婷婷
5	发明专利	一种碳纳米管 增强 SiC 基纳 米复合材料膜 的制备方法	中国	ZL201410475361.1	2015年12月30日	1882593	西安建筑科技大学	蔡艳芝; 尹洪峰; 周媛; 钟兴润
6	发明专利	一种复合气凝 胶电极材料、制备方法 及浸 渍装置	中国	ZL202110419710.8	2022年04月19日	5094276	西安建筑科技大学	蔡艳芝; 李璇; 任璇璇; 李阳; 刘婷婷; 黄少华
7	论文	N-doped CNTs/CoNi nanochains-carbon hollow microspheres multi-level multi-scale heterogeneous interface structures and microwave absorption properties	中国	Carbon	2024年9月1日	228 (2024) 119423	西安建筑科技大学; 西北工业大学	Yanzhi Cai*, Yalong Chai, Laifei Cheng, Siyu Guo, Yibing Yuan, Xue Huang, Zixuan Yu, Mingxing Chen, Shaoxiong Ren, Hudie Yuan
8	论文	Fiber, monolithic fiber and twisted fiber structures: Efficient microwave absorption via surface-modified carbon nanotube buckypaper/silicon carbide-based self-sealing	中国	Journal of Materials Chemistry A	2024年1月18日	12 (2024) 5377-5391	西安建筑科技大学; 西北工业大学	Siyu Guo, Yanzhi Cai*, Laifei Cheng, Shaohua Huang, Tingting Liu, Haiming Yu,

		layered composites						Dengpeng Chen, Yuhan Wang, Zhongyi Hu, Yuan Zhou
9	论文	Tribological behavior of three dimensional needled ceramic modified carbon/carbon composites in seawater conditions	中国	Composites Science and Technology	2013年08月13日	87 (2013) 50–57	西北工业大学; 西安建筑科技大学	Yanzhi Cai*; Xiaowei Yin; Shangwu Fan; Litong Zhang; Laifei Cheng
10	论文	Microstructure s and improved wear resistance of 3D needled C/SiC composites with graphite filler	中国	Composites Science and Technology	2009年11月01日	69 (2009) 2447–2453	西北工业大学	Yanzhi Cai, Shangwu Fan *, Heyi Liu, Litong Zhang, Laifei Cheng, Benxing Dong, Juan Jiang

七、主要完成人情况表

姓 名	蔡艳芝	排 名	1
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 项目负责人，负责整个项目的运行，负责研究思路和实验方案的制定，负责实验装置的研制，负责功能梯度材料的理论计算，负责项目组成员之间的工作安排与协调，并参与所有实验过程，负责与合作企业的沟通交流与服务工作。为本项目所列 10 项主要知识产权的第一发明人和第一/通讯作者。对应于“主要科技创新”中所列的所有创新。对应于必备附件 1-3、应用情况和效益佐证材料 1 和 2、其他附件中除 15-20 之外的所有其他附件。			

姓 名	尹洪峰	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 参与本项目的文献调研分析，参与所列 10 项主要知识产权中第 1、5、7 项，参与合作企业的技术服务。对应于主要科技创新中的“发明了定向加压过滤新技术”、“发明了定向加压过滤新技术”、“发明了定向加压浸渍新 技术及全能型浸渍装置”、“提出了 B4C 化学改性碳中间界面新理论”。对应于必备附件 1-3、应用情况和效 益佐证材料 1 和 2、其他附件 2 和 4。			

姓 名	成来飞	排 名	3
行政职务	超高温结构复合材料重点实验室主任		
技术职称	教授		
工作单位	西北工业大学		
完成单位	西北工业大学		
对本项目技术创造性贡献： 参与本项目的机理分析,为本项目所列 10 项主要知识产权中后 4 项的共同完成人,参与合作企业的沟通交流和技术服务。对应于“主要科技创新”中所列的所有创 新。对应于必备附件 1-3、应用情况和效益佐证材料 1 和 2、其他附件中除 15-20 之外的所有其他附件。			

姓 名	马军强	排 名	4
行政职务	监事会主席		
技术职称	工程师		
工作单位	洛阳科创新材料股份有限公司		
完成单位	洛阳科创新材料股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 作为洛阳科创新材料股份有限公司与西安建筑科技大学在本报奖项目中产学研合作项目的直接合作人，参与完成主要知识产权中的第 1、2、3 项，由产学研合作产生的新技术的推广应用为公司新增销售经济效益 2423 万元。对应于创新性贡献中的“创建了闭锁层状结构”、“发明了定位浸渍新技术”、“提出了 SiC 纳米纤维多 孔膜表面包覆改性新理论”，对应于必备附件 1-3、应用情况和效益佐证材料 2、其他附件 15。			

姓 名	乔明涛	排 名	5
行政职务	教研室主任		
技术职称	副教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 参与本项目的显微结构分析，参与合作企业的沟通交流和技术服务。对应于“主要科技创新”中所列的所有创 新。对应于必备附件 1-3、应用情况和效益佐证材料 1 和 2、其他附件中除 15-20 之外的所有其他附件。			

姓 名	周媛	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	工程师		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 参与本项目的样品制备与性能检测，参与完成第 5 项代表性成果，参与合作企业的技术服务。对应于主要科技创新 中的“发明了定向加压过滤新技术”、“发明了定向加压浸渍新技术及全能型浸渍装置”、“提出了 B ₄ C 化学改性碳中间界面新理论”。对应于必备附件 2 和 3、应用情况和效益佐证材料 1 和 2、其他附件 2。			

姓 名	蔚文绪	排 名	7
行政职务	董事长		
技术职称	工程师		
工作单位	洛阳科创新材料股份有限公司		
完成单位	洛阳科创新材料股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 在洛阳科创新材料股份有限公司与西安建筑科技大学在本项目中产学研合作中参与并督促工作按计划完成，参与完成代表性成果中的第 1、2、3 项。对应于创新性贡献中的“创建了闭锁层状结构”、“发明了定位浸渍新技术”、“提出了 SiC 纳米纤维多孔膜表面包覆改性新理论”，对应于必备附件 1-3、应用情况和效益佐证材料 2、其他附件 20。			

姓 名	郭思钰	排 名	8
行政职务	无		
技术职称	无（博士研究生）		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 参与本项目的样品制备与性能检测，参与完成代表性成果中第 7、8 项，参与两家合作企业的技术服务。对应于主 要科技创新中的“提出了 B ₄ C 化学改性碳中间界面新理论”。对应于必备附件 1-3、应用情况和效 益佐证材料 1 和 2、其他附件 2 和 4。			

八、主要完成单位情况表

单位名称	西安建筑科技大学
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>西安建筑科技大学为本项目研究提供了所有的实验条件，完成了本项目的所有关键科学问题的攻关、新技术研发及课题实验，完成了“主要科技创新”中所列的所有创新，完成并获得了本项目的绝大部分知识产权。积极为所研发的关键技术探寻推广应用渠道，为所获授权专利探寻工程化和产业化合作企业，积极为两家合作企业做好技术服务。西安建筑科技大学是本项目的第一完成单位。</p>	

单位名称	西北工业大学
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>西北工业大学为本项目研究提供了部分实验条件，完成了本项目的所有关键科学问题的攻关、新技术研发及课题实验，完成了“主要科技创新”中所列的所有创新，完成并获得了本项目的绝大部分知识产权。积极为所研发的关键技术探寻推广应用渠道，为所获授权专利探寻工程化和产业化合作企业，积极为合作企业做好技术服务。西北工业大学是本项目的第二完成单位。</p>	

单位名称	洛阳科创新材料股份有限公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>洛阳科创新材料股份有限公司以产学研合作的方式，参与到西安建筑科技大学本项目的专利技术的研发、推广应用和转化中来。通过将专利“一种 $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ 功能梯度材料的制备方法”、“一种自封锁层状 CNT 纸/SiC 梯度纳米复合材料及制备方法”、“一种自封闭层状纤维吸波材料及制备方法”中的关键技术 推广应用到相关陶瓷和耐火材料中，为该公司增加销售收入约 2423 万元，取得了显著的经济效益和良好的社会效益。参与完成并获得了本项目的部分知识产权。洛阳科创新材料股份有限公司为该项目的第三完成单位。</p>	

完成人合作关系说明

所有完成人均与第一完成人有密切合作关系。

第二完成人尹洪峰，现在西安建筑科技大学工作。从 2013 年 9 月至 2024 年 12 月参与到本项目的研究工作中，参与本项目的文献调研分析，参与完成本项目第 1、5、7 项主要知识产权。

第三完成人成来飞，现在西北工业大学工作。从 2013 年 9 月至 2024 年 12 月参与到本项目的研究工作中，参与本项目的机理分析，参与完成本项目第 6-10 项主要知识产权。

第四完成人马军强，现在洛阳科创新材料股份有限公司工作。从 2015 年 9 月至 2018 年 9 月间，马军强工程师以产学研合作的形式参与到第一完成人团队的专利“一种 $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ 功能梯度材料的制备方法”的研发和推广应用中来。从 2019 年 1 月至 2021 年 12 月间，马军强工程师以产学研合作的形式参与到第一完成人团队的专利“一种自封锁层状 CNT 纸/SiC 梯度纳米复合材料及制备方法”的研发和推广应用中来。从 2022 年 3 月至今，马军强工程师以产学研合作的形式参与到第一完成人团队的专利“一种自封闭层状纤维吸波材料及制备方法”的研发和推广应用中来。此三项专利关键技术的应用为洛阳科创新材料股份有限公司新增经济效益达 165 万元。马军强参与完成本项目第 1、2、3 项主要知识产权。

第五完成人乔明涛，现在西安建筑科技大学工作。从 2018 年 9 月至 2024 年 12 月参与到本项目的研究工作中来，参与本项目的显微结构分析，与第一完成人基于本项目的前期研究成果共同获 2025 年陕西省高校科学技术奖二等奖。

第六完成人周媛，现在西安建筑科技大学工作。从 2013 年 9 月至 2023 年 12 月间参与到本项目的研究工作中，负责参与本项目的样品制备与性能检测。参与本项目所依托的第一完成人主持的国家自然科学基金青年项目（项目编号 51302206），参与完成第 5 项主要知识产权。与第一完成人基于本项目的前期研究成果共同获 2025 年陕西省高校科学技术奖二等奖。

第七完成人蔚文绪，现在洛阳科创新材料股份有限公司工作。从 2015 年 9 月至今参与到本项目研究工作中。以产学研合作的形式参与第一完成人团队的三项专利“一种 $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{SiC}$ 功能梯度材料的制备方法”、“一种自封锁层状 CNT 纸/SiC 梯度纳米复合材料及制备方法”、“一种自封闭层状纤维吸波材料及制备方法”关键技术的研究和推广应用工作中，并督促按计划完成，此三项关键技术已为洛阳科创新材料股份有限公司新增销售经济效益达 165 万元。蔚文绪参与完成本项目第 1、2、3 项主要知识产权。

第八完成人郭思钰，现为西安建筑科技大学第一完成人指导下的博士研究生，从 2022 年 9 月至 2024 年 12 月参与到本项目的研究工作中来，参与本项目的试样制备和性能检测。为所列 10 项主要知识产权中第 7、第 8 两项知识产权的共同完成人。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	直接参与项目研究	蔡艳芝/第1; 尹洪峰/第2	2013年9月	2024年12月	参与完成第2、5两项主要知识产权	
2	直接参与项目研究	蔡艳芝/第1; 成来飞/第2	2013年9月	2024年12月	参与完成第7-10四项主要知识产权	
3	产学研合作	蔡艳芝/第1; 马军强/第4	2015年9月	2024年12月	参与完成第1-3项主要知识产权	
4	直接参与项目研究	蔡艳芝/第1; 乔明涛/第5	2018年9月	2024年12月	共同获奖	
5	直接参与项目研究	蔡艳芝第1; 周媛/第6	2013年9月	2024年12月	参与完成第5、第8项主要知识产权; 共同获奖	
8	产学研合作	蔡艳芝第1; 蔚文绪/第7	2015年9月	2024年12月	参与完成第1-3项主要知识产权	
9	直接参与项目研究	蔡艳芝/第1; 郭思钰/第8	2022年9月	2024年12月	参与完成第7、第8项主要知识产权; 共同获奖	