

陕西省自然科学奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	微波介质陶瓷低温烧结机理及其介电性能调控机制
主要完成人	周迪、庞利霞、李文博
主要完成单位	西安交通大学、西安工业大学

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input checked="" type="checkbox"/> √二等奖及以上
<p>提名意见：</p> <p>该成果围绕 5G 通讯领域中面临的微波器件集成化、小型化等亟需解决的问题，研发了一系列新型低/中/高 K 值本征低温烧结微波介质陶瓷，构建了温度稳定型低温烧结微波介质陶瓷；阐明了 BiVO₄ 铁电相变温度与晶格畸变之间的关系；提出了利用红外反射光谱及 THz 谱拟合计算复介电常数 ϵ^* 的方法，将各个原子振动模式与其对介电性能的贡献联系起来，从而揭示了晶格结构、极化贡献及宏观介电性能的关系；通过丝网印刷、热等静压的方法制备出多层的低温共烧电容器原型器件；提出了微波陶瓷原型器件的设计方法，开发出满足不同频段基站需求的 Sub-6GHz 微波介质器件。该成果推动了微波介质陶瓷在 5G 通讯器件集成制备技术中的应用，对低烧低损微波介质陶瓷的设计与器件加工具有重要的科学意义和应用价值。研究成果选题准确，研究起点高，理论上有创新，发表的论著国内外引用较高，受到国内外学术界的好评与认可，对相关研究有引领和示范作用，有重要的学术价值和理论意义，对学科建设和经济社会发展有重要的指导作用。成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省自然科学奖提名条件。特提名为陕西省科学技术奖自然科学奖二等奖。</p> <p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，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。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

三、项目简介

该项目属于电子元件与器件技术、陶瓷材料和电介质物理学交叉领域。

微波介质陶瓷材料因其在微波频段具有极小的介电损耗、良好的温度稳定性、机械强度高等优点，是微波通信、卫星通信、移动通信和无线网络等现代通讯领域关键部件和核心系统不可替代的电子功能材料，特别是具有超低温烧结温度的微波介质陶瓷材料，在微波器件小型化、集成化、轻型化方面更具有举足轻重的作用。本征低温烧结微波介质陶瓷材料是近十几年时间内，应低温共烧陶瓷（Low Temperature Co-fired Ceramics, LTCC）技术的需求发展起来的，在发展过程中曾面临诸多理论和材料研究难题，即陶瓷材料在微波频段的极化机理问题、无玻璃相掺杂（glass-free）的本征 LTCC 材料的低温烧结机理问题，如何实现高、中、低 K 微波介质材料之间的共烧匹配问题以及介质与电极之间的共烧匹配问题，在微波介电性能调节机制中，相变与介电性能之间的关系问题等。该项目与国际上同时期展开研究，结合麦克斯韦电磁场理论、克劳修斯-莫索提方程及经典一维谐振子模型，采用远红外反射谱拟合及太赫兹时域光谱（THz-TDS）技术实现了本征微波介电性能的定性及半定量分析，将极化贡献分解到不同的晶格振动模式，揭示了微波介质的极化机理；提出了通过离子取代调节 BiVO_4 晶格畸变从而引入内应力，进一步诱导 BiVO_4 相变温度向低温方向移动，实现了调节 BiVO_4 基微波介电性能的新方法，提出了可以预测固溶体陶瓷烧结温度的“弓形理论”；从基础二元相图出发，在 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$ 二元体系、 $\text{Li}_2\text{O-ZnO-MoO}_3$ 三元体系、 $\text{Li}_2\text{O-Bi}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ 等四元体系及其它富铋、钼、锂、钠、钾的多元体系中，研发出涵盖低 K、中 K 及高 K 的一系列新型超低温烧结（ULTCC，其中 NaAgMoO_4 可以在 400°C 下致密成瓷）微波介质陶瓷材料并研发了一系列共烧原型器件，材料与器件性能达到国际先进水平。

主要发现点有：

1. 开发了介电常数低于 20 的低 K 值超低温烧结微波介质陶瓷，其中 Li_2WO_4 陶瓷可以在 640 摄氏度下致密烧结，相对密度达到 95.1%，Qf 值高达 62,000GHz，且在其烧结温度下可以与 Ag、Al 电极共烧；其中 Li_2MoO_4 陶瓷被美国陶瓷学会会士 Clive A. Randall 教授首次用于冷烧结实验，以其低介（5.5）低损（Qf=46,000GHz，介电损耗 $<3\times 10^{-4}$ ）的优良特性广泛应用于低温共烧陶瓷领域；与美国 Ferro 公司商用 A6m 材料比，该体系烧结温度降低了 25%，介电常数减小了 10%。

2. 以白钨矿结构 ABO_4 为基础，采用 A 位缺陷、A 位取代、B 位取代、A/B 位联合取代及复合陶瓷等方式，构建了一系列低 K、中 K 及高 K 值白钨矿微波介质材料及其复合材料，尤其是部分 BiVO_4 基陶瓷可在 900°C 以下致密烧结，其微波介电常数高达 80，Qf>8,000GHz，其烧结温度比传统商用 K80 乌青铜矿 Ba-(Sm,Nd)-Ti-O 微波介质陶瓷（ 1400°C 烧结）降低了 36%。

3. 开发了中 K 值 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$ 二元体系超低温烧结微波介质陶瓷，其中 620°C

烧结的 $\text{Bi}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ 陶瓷介电常数 $\epsilon_r \approx 19$ 、 $Q_f \approx 21,800\text{GHz}$ 、温度系数 $\text{TCF} \approx -215\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ； 640°C 烧结的 $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ 陶瓷介电常数 $\epsilon_r \approx 38$ 、 $Q_f \approx 12500\text{GHz}$ 、温度系数 $\text{TCF} \approx +31\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ；揭示了 $[\text{MoO}_4]$ 四面体链接方式与钼酸盐熔点及烧结温度的定性关系；制备了 $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ 基、Al 做内电极的超低温烧结多层电容器 MLCC（层厚 $90\mu\text{m}$ ，电极厚度 $12\mu\text{m}$ ）以及单层电容器（层厚 $50\mu\text{m}$ ，电极厚度 $12\mu\text{m}$ ），进一步开拓了 Al 电极在 LTCC 领域中的应用。

4. 提出了固溶体微波介质陶瓷烧结温度的“弓形理论”，为预测固溶体陶瓷的烧结温度提出了新的理论模型，丰富了低温烧结理论并开发了迄今为止本征烧结温度最低的 $(\text{Na}_x\text{Ag}_{2-x})\text{MoO}_4$ ($0 \leq x \leq 2$) 尖晶石固溶体微波介质陶瓷，其介电常数介于 5~8， Q_f 值 $20,000 \sim 50,000\text{GHz}$ ，烧结温度介于 $400 \sim 650$ 摄氏度；其中 NaAgMoO_4 陶瓷可以在 400°C 下致密烧结，这是迄今为止有文献报道的微波介质陶瓷最低烧结温度，比传统 LTCC 技术中的 850°C 降低了 50%，有望在将来与聚合物、生物基材料制备技术结合，产生更多耦合效用。

5. 提出了利用红外反射光谱及 THz 谱拟合计算复介电常数 ϵ^* 的方法，将振动模式与其对介电性能的贡献联系起来，从而揭示了晶格结构、极化贡献及宏观介电性能的关系。

6. 发现了 BiVO_4 铁弹相变温度与晶格畸变之间的关系，提出了“应力诱导相变”理论，通过多组复合离子取代验证了该理论的有效性，并通过这种方法成功地将 BiVO_4 铁弹相变温度从 255°C 调节至室温附近，从而解决了 BiVO_4 微波介质陶瓷谐振频率温度系数 TCF 值过大的问题，提出了两种有效调节其 TCF 值的新方法。

该项目 5 篇代表性论文发表在 *Journal of the American Ceramic Society*、*Journal of Materials Chemistry C* 等业内一流学术期刊，被来自 26 个国家 136 个研究机构的 300 余名同行在 38 种期刊的 379 篇文章引用，总引用 708 余次，SCI 他引 564 次，研究成果得到世界陶瓷科学院院士、美国陶瓷学会会士等知名学者的引用和高度评价。第一完成人周迪 2012 年获全国百篇优秀博士论文提名，2016 年陕西省青年科技新星，2018 年国际粉末衍射学会贡献奖，2019 年入选中国电子学会元件分会委员，2020 年入选国家级青年人才计划，2022 年获高等教育（本科）国家级教学成果二等奖，2023 年获第十五届中国硅酸盐学会青年科技奖，2024 年获科睿唯安“全球高被引科学家”，2025 年获中国电介质物理专委会优秀青年奖(A 类)；指导博士生获得省级/一级学会优秀博士论文 3 次。担任美国陶瓷学会会刊 (IF=3.8) 副编、国际应用陶瓷技术 (IF=2.3) 副编、先进电介质杂志副编、材料研究通报 (IF=5.7) 编委；担任 ACS 应用材料与界面杂志 (IF=8.5) 顾问委员会成员、中国电子学会高级会员、电气与电子工程师协会高级会员 (IEEE Senior Member)。近年来主持国家自然科学基金 5 项、国家重点研发国际合作项目 1 项、华为公司横向课题 5 项等，发表学术论文 300 余篇 (H 因子=77)。第二完成人庞利霞获 2020 年“最美三秦青年科技创新之星”提名奖。

四、客观评价

该项目在 Journal of the American Ceramic Society、Journal of Materials Chemistry C 等业内一流学术期刊发表 SCI 学术论文百余篇；其中 5 篇代表性论文被来自 26 个国家的 300 余名同行在 38 种期刊的 379 篇文章引用，总引用 708 次，SCI 他引 564 次，研究成果得到世界陶瓷科学院院士、美国陶瓷学会会士、芬兰技术科学院院士、IEEE UFFC 铁电成就奖获得者在内著名学者的引用和高度评价。主要如下：

1. 世界陶瓷科学院院士、2018 年诺基亚基金会奖获得者、芬兰技术科学院院士、芬兰奥卢大学 Heli Jantunen 教授在其发表于 ACS Sustainable Chem. Eng. 2016, 4, 5632 的论文中引用了项目组 9 篇论文（代表作 1、2），评价认为“近年来，烧结温度低于 700 摄氏度的超低温烧结微波介质陶瓷引起广泛关注，一系列低 K、中 K 及高 K 值 ULTCC 被报道”；在其 2016 年“超低温烧结微波介质陶瓷”综述文章中（Current Opinion in Solid State & Materials Science, 2016, 20, 151，代表引文 1）更是连续引用了项目组的 28 篇论文（代表作 1、3、4），文章中大段篇幅介绍了项目组研发的 Li_2WO_4 、 NaAgMoO_4 、 $\text{Li}_3\text{InMo}_3\text{O}_{12}$ 、 $\text{Li}_2\text{Zn}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ 、 $\text{Bi}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ 、 $(\text{AgBi})(\text{MoW})\text{O}_4$ 等超低温烧结微波介质陶瓷，并予以了充分肯定。
2. 韩国政府脑池科学家（Brain Pool Scientist）、微波介质陶瓷领域“红宝书”（Dielectric Materials for Wireless Communication, Elsevier Science Publishers）作者 M. T. Sebastian 教授在其发表于 ACS Sustainable Chemistry & Engineering (2018, 6, 6849)、美陶及欧陶等多篇文章中重点引用该项目成果（代表作 1、2 等），评价认为“周等人发现钨酸盐 Li_2WO_4 具有极好的微波介电性能及超低的烧结温度 $<660^\circ\text{C}$ ，介电常数 ~ 5.5 ， $Qf=62000\text{ GHz}$ ”；其发表于 Composites Part B 141 (2018) 214–220（代表引文 8）的文章引用项目组 14 篇文章（代表作 2、4、5），指出“周研发的低烧微波陶瓷为构建多层共烧无源组件提供了重要的介质材料”。
3. 材料研究通报主编、美国博伊西州立大学教授 Rick Ubic 等在其发表于国际材料评述（International Materials Review, 2015, 60, 392，代表引文 6）的论文对该项目成果多次引用（代表作 4 等），评价指出：“Zhou 等人研发的 400°C 烧结的 NaAgMoO_4 陶瓷使得铝电极或者纳米银导电浆料得以在多层器件中发挥更大的作用、有望在将来与聚合物、生物基材料制备技术完美结合，产生更多耦合效用”。
4. 国务院特殊津贴专家、新材料科技奖评委、中国电子学会电子元件分会副主任、电子科技大学张树人教授在其发表于无机化学（Inorg. Chem. 2019, 58, 968–976; 2018, 57, 8264–8275）的多篇文章重点引用该项目成果（代表作 2、5 等），评价认为“ BiVO_4 陶瓷具有良好的微波介电性能，但是其与 Ag 的化学反应限制了其进一步应用。周等人通过离子取代及复合陶瓷的方式对其性能进行了改善，特别是 BiVO_4 陶瓷与 Al 及 Cu 电极化学兼容，这拓展了其在 LTCC 中的应用”、“周等人利用化学键理论研究了 $\text{BiVO}_4\text{-LaNbO}_4$ 微波介质陶瓷”（见代表引文 3）。
5. 世界陶瓷科学院院士、英国谢菲尔德大学 Ian M. Reaney 教授联合英国拉夫堡大学相关课题组，利用激光烧结增材制造的方式，制备出一系列基于 $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ 陶瓷的功能器件，开拓了低烧微波陶瓷在 3D 打印领域的应用（代表引文 4）。在其发

表于 Virtual and Physical Prototyping 的文章中引用项目组 9 篇论文(代表作 3 等), 指出“周等研发的 $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ 陶瓷可在 645°C 致密烧结, 介电常数 38, 介电损耗 $=0.0002$ ”、“采用周等研发的一系列低烧材料可以发展 3D 打印射频器件”。在其发表于 *Applied Materials Today* (2020, 21, 100862, 代表引文 5) 的文章中引用本课题组 5 篇论文(代表作 3 等), 大篇幅介绍并对比本课题组研发的 $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ 陶瓷及 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$ 二元体系本征低烧微波介质陶瓷, 首次采用挤出式 3D 打印的方法制备了 $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$ 陶瓷。

6. 美国陶瓷学会会士、IEEE UFFC 铁电成就奖获得者、美国宾州州立大学 **Clive A. Randall** 教授基于项目组研发的 Li_2MoO_4 、 Li_2WO_4 (代表作 1) 超低温烧结微波介质陶瓷材料, 提出冷烧结 (Cold Sintering, *Angewandte Chemie International Edition*, 2016, 55, 11457) 概念, 并迅速将该烧结方法拓展到了电池及生物材料的制备中, 成为了传统烧结、热压烧结、放电等离子烧结、闪烧结之后的又一种陶瓷及有机无机复合材料的烧结方法。
7. 中国科学院院士、清华大学“新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室”南策文教授在其发表于《中国材料进展》的题为“信息功能陶瓷研究的新进展与挑战”中引用多篇项目组论文(代表作 3), 评价认为“在 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$ 基体系中发现了新的超低温烧结微波介质陶瓷, 获得了介电常数系列化、具有较高 Qf 值的超低温烧结材料, 可与 Ag 或 Al 电极共烧”。
8. 广西高校杰出科技人才、教育部新世纪优秀人才、桂林理工大学方亮教授在其发表于 *ACS Sustainable Chem. Eng.* (2018, 6, 6458–6466, 见代表引文 2) 及美陶 (*J Am Ceram Soc.* 2018, 101, 773–781) 的文章重点引用该项目成果(代表作 1、2、3、5 等), 评价认为“在微波频段只有离子极化和电子极化对介电常数起贡献、 BiVO_4 是一种典型的低烧微波介质陶瓷”。
9. 教育部新世纪优秀人才、天津大学李玲霞教授在其发表于材料化学 C (*J. Mater. Chem. C*, 2018, 6, 11023, 代表引文 7) 的文章中重点引用该项目成果(代表作 2、5), 评价认为“影响品质因数的主要本征因素来源于晶格振动, 利用一维谐振子模型和洛伦兹三参数法可以进行拟合”、“远红外反射谱拟合可用来计算晶格振动的极化贡献, 第一个远红外振动模式出现在 100 波数附近”。

此外, 台湾省成功大学**黄正亮教授**, 美国陶瓷学会会士、国家杰出青年科学基金获得者、浙江大学**陈湘明教授**, 国家杰出青年基金获得者、国家 973 重大基础项目首席科学家、电子科学与技术学科国家教指委委员、电子科技大学**张怀武教授**, 亚太材料科学院院士、台北科技大学校长 **Sea-Fue Wang 教授**, IEEE 高级会员、上海市硅酸盐学会特种无机材料专委会主任委员、《无机材料学报》编委、中国科学院“百人计划”获得者**李永祥研究员**, 陕西省政府“三五”人才、陕西师范大学**刘鹏教授**, 教育部新世纪优秀人才合肥工业大学**左如忠教授**等在其发表于美陶、欧陶及材料化学等杂志的多篇文章中都正面引用了该项目成果。

五、代表性论文专著目录
(不超过 8 条, 其中代表性论文不超过 5 篇, 代表性专著不超过 3 部)

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	他引总次数	检索数据库	知识产权是否归国内所有
1	Microwave Dielectric Properties of Li ₂ WO ₄ Ceramic with Ultra-Low Sintering Temperature	Journal of the American Ceramic Society	Di Zhou, Clive A. Randall, Li-Xia Pang, Hong Wang, Jing Guo, Gao-Qun Zhang, Xin-Guang Wu, Li Shui, and Xi Yao	2011 年 94 卷 2 期 348-350 页	2011 年 02 月 01 日	周迪	周迪	周迪, 庞利霞, 汪宏, 郭靖, 张高群, 吴新光, 税利, 姚熹	190	SC I SC I	是
2	Novel temperature stable high-er microwave dielectrics in the Bi ₂ O ₃ -TiO ₂ -V ₂ O ₅ system	Journal of Materials Chemistry C	Di Zhou, Dan Guo, Wen-Bo Li, Li-Xia Pang, Xi Yao, Da-Wei Wang and Ian M. Reaney	2016 年 4 卷 5357-5362 页	2016 年 05 月 11 日	周迪	周迪	周迪, 郭丹, 李文博, 庞利霞, 姚熹	132	SC I	是
3	Bi ₂ O ₃ -MoO ₃ Binary System: An Alternative Ultralow Sintering Temperature Microwave Dielectric	Journal of the American Ceramic Society	Di Zhou, Hong Wang, Li-Xia Pang, Clive A. Randall, and Xi Yao	2009 年 92 卷 10 期 2242-2246 页	2009 年 10 月 01 日	周迪	周迪	周迪, 汪宏, 庞利霞, 姚熹	93	SC I	是
4	Novel ultra-low temperature co-fired microwave dielectric ceramic at 400 degrees and its chemical compatibility with base metal	Scientific Reports	Zhou Di, Pang Li-Xia, Qi Ze-Ming, Jin Biao-Bing & Yao Xi	2014 年 4 卷 5980 页	2014 年 04 月 23 日	周迪	周迪	周迪, 庞利霞, 戚泽明, 金彪兵, 姚熹	66	SC I	是

5	Structure-property relationships of low sintering temperature scheelite-structured (1-x)BiVO ₄ -xLaNbO ₄ microwave dielectric	Journal of Materials Chemistry C	Li-Xia Pang, Di Zhou, Ze-Ming Qi, Wei-Guo Liu, Zhen-Xing Yue and Ian M. Reaney	2017 年 5 卷 10 期 2695-2701 页	2017 年 10 月 18 日	周迪	庞利霞	庞利霞, 周迪, 戚泽明, 刘卫国, 岳振星	83	SCI	是
6											
7											
8											
合 计									564		
补充说明 (视情填写):											

六、主要完成人情况表

姓 名	周迪	排 名	1
行政职务	电子学院副院长		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献：周迪从基础二元相图出发，以低共熔点单相组分为研究基础，研发出涵盖低 k 材料（介电常数<20）、中 k 材料（介电常数 20~45）及高 k 材料（介电常数>45）的一系列新型超低温烧结（烧结温度<660℃）微波介质陶瓷材料，其烧结温度远远低于常规意义的低温烧结微波介质陶瓷材料，且部分材料可以与低熔点的贱金属 Al 共烧匹配，开拓了 Al 电极在 LTCC 技术中的应用，并论证了 Al 电极取代 Ag 电极的可能性。周迪对科学发现 1-6 做出贡献，是代表性论文 1~4 的第一作者兼通讯作者。			

姓 名	庞利霞	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安工业大学		
完成单位	西安工业大学		
对本项目主要学术贡献：庞利霞围绕白钨矿结构微波介质陶瓷体系的低温烧结机理、结构/性能调控原理、晶体结构容忍度等几个关键科学问题展开。根据结构相似相容原理设计固溶体材料体系，通过离子取代、两相复合等方案，采用固相反应法制备一系列 A 位缺陷型、A/B 位有序/无序型白钨矿结构微波介质材料。庞利霞对科学发现 2-6 做出贡献，是代表性论文 1~4 的共同作者，代表作 5 的第一作者。			

姓 名	李文博	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	西安工业大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献:李文博利用 Shannon 的加和理论(additive rule)及 Clausius-Mosotti 方程将微波介质陶瓷的微观离子极化率与宏观介电常数关联起来,通过点群理论,根据材料的晶体结构信息,计算出材料的红外活性模。李文博对科学发现 2 做出贡献,是代表性论文 2 的共同作者。			

七、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：从基础二元相图出发，以低共熔点单相组分为研究基础，根据电价相等、摩尔比匹配方式、按照化学剂量比设计配方，在 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$ 二元体系、$\text{Li}_2\text{O-ZnO-MoO}_3$ 三元体系、$\text{Li}_2\text{O-Bi}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ 四元体系等富铋的多元体系中，研发出涵盖低 k 材料（介电常数<20）、中 k 材料（介电常数 $20\sim45$）及高 k 材料（介电常数>45）的一系列新型超低温烧结（烧结温度$<660^\circ\text{C}$）微波介质陶瓷材料，其烧结温度远远低于常规意义的低温烧结微波介质陶瓷材料，且部分材料可以与低熔点的贱金属 Al 共烧匹配，开拓了 Al 电极在 LTCC 技术中的应用，并论证了 Al 电极取代 Ag 电极的可能性。利用 Shannon 的加和理论（Additive rule）及 Clausius-Mosotti 方程将微波介质陶瓷的微观离子极化率与宏观介电常数关联起来，通过点群理论，根据材料的晶体结构信息，计算出材料的红外活性模；通过远红外-THz 反射光谱测试，利用反射系数 R 与复介电常数 ϵ^* 之间的关系，将晶格振动模式与晶体结构信息相结合，深入研究了晶体结构、晶格振动对微观极化机理和宏观介电性能的影响，这对微波介质材料物理化学理论的发展具有重要的科学价值。</p>	
单位名称	西安工业大学
<p>对本项目主要学术贡献：围绕白钨矿结构微波介质陶瓷体系的低温烧结机理、结构/性能调控原理、晶体结构容忍度等几个关键科学问题展开。根据结构相似相容原理设计固溶体材料体系，通过离子取代、两相复合等方案，采用固相反应法制备一系列 A 位缺陷、A/B 位有序/无序型白钨矿结构微波介质材料。通过原位 XRD、原位 Raman 谱研究材料晶体结构及结构相变；通过远红外-THz 谱研究微波介质的极化机理；通过 X 射线吸收精细结构（XAFS）分析、精细 XRD 测试和结构精修，研究精细结构参数、晶体化学键价特性，构建合理的结构因子衡量结构容忍度，探索白钨矿结构微波介质陶瓷的低温烧结机理。</p>	

完成人合作关系说明

项目第一完成人为周迪，其 2004-2009 年博士就读于西安交通大学电子科学与技术系“电子陶瓷与器件教育部重点实验室”，博士期间导师为姚熹教授，周迪现任西安交通大学电子科学与工程学院副院长、电子材料党支部书记；项目第二完成人庞利霞于 2005-2009 年就读于西安交通大学电子科学与技术系“电子陶瓷与器件教育部重点实验室”，目前在西安工业大学光电工程学院工作；项目第三完成人李文博于 2014-2018 年就读于西安交通大学电子科学与技术系“电子陶瓷与器件教育部重点实验室”，导师为项目第一完成人周迪教授，目前在西安工业大学光电工程学院工作。三位项目完成人于 2009.10~2023.5 期间密切合作，共同完成了“微波介质陶瓷低温烧结机理及其介电性能调控机制”项目。

第一完成人签名：周迪

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	合作时间	合作成果	证明材料
1	论文合著	周迪/第一完成人、庞利霞/第二完成人	2009	Microwave Dielectric Properties of Li_2WO_4 Ceramic with Ultra-Low Sintering Temperature, 美陶	代表性论文 1
2	论文合著	周迪/第一完成人、李文博/项目第三完成人、庞利霞/第二完成人	2015	Novel temperature stable high-epsilon(r) microwave dielectrics in the $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-V}_2\text{O}_5$ system, Journal of Materials Chemistry C (ESI 高被引)	代表性论文 2
3	论文合著	周迪/第一完成人、庞利霞/第二完成人	2008	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$ binary system: an alternative ultralow sintering temperature microwave dielectric, 美陶	代表性论文 3
4	论文合著	周迪/第一完成人、庞利霞/第二完成人	2013	Novel ultra-low temperature co-fired microwave dielectric ceramic at 400 degrees and its chemical compatibility with base metal, Scientific Reports	代表性论文 4
5	论文合著	周迪/第一完成人、庞利霞/第二完成人	2016	Structure-property relationships of low sintering temperature scheelite-structured $(1-x)\text{BiVO}_4\text{-xLaNbO}_4$ microwave dielectric ceramics, Journal of Materials Chemistry C (ESI 高被引)	代表性论文 5
.....					
(不限条目)					