

附件： 拟提名 2022 年度云南省自然科学奖励的项目

一、项目基本情况

- 1、项目名称：难熔材料的化学气相沉积制备基础及应用
- 2、主要完成单位：昆明贵金属研究所、贵研铂业股份有限公司
- 3、主要完成人：胡昌义、魏燕、蔡宏中、陈力、张翎翔
- 4、提各单位：云南贵金属新材料控股集团有限公司

提名意见：难熔新材料符合云南省新材料发展战略，本项目围绕国家对新一代航天发动机高性能材料的急需，针对航天推力器喷管用高温结构材料存在的强化效应、涂层与基体的界面结合及催化活性等关键科学问题，开展了高熔点贵金属薄膜涂层材料和难熔金属层状复合材料的化学气相沉积（CVD）制备科学、组织结构、性能及应用研究。在 Ir、Pt 薄膜的沉积动力学、Ir/Re 复合材料界面元素扩散与工作寿命、难熔金属复合材料界面结构及复合效应、Ir-C、Pt-C 簇膜结构与催化活性关键影响因素等方面有重要科学发现，并获得了同行较高的学术评价。基于项目理论研究成果基础上开发的 Ir/Re、Nb/Re 和 Nb/C/SiC 复合材料已在航天推力器中获得应用，取得了显著的社会效益。经研究决定提名该项目参加云南省自然科学奖的评选。

二、项目简介

本项目针对航天航空等高新技术领域对高温结构材料、涂层材料及催化材料的应用，在国家自然科学基金和云南省应用基础研究等项目的资助下，开展了高熔点贵金属 Ir、Pt 薄膜涂层材料，Ir-C、Pt-C 簇膜催化材料和 Nb/Re、Nb/C/SiC、Ta/W 难熔金属层状复合材料的化学气相沉积（CVD）制备科学、组织结构及相关性能研究。

主要科学发现点：（1）编著的《贵金属新材料》专著汇集了当今国际上贵金属材料领域的最新研究成果。该书对贵金属与人类文明的关系、贵金属的性质、贵金属新材料在现代工业及高新技术中的主要应用进行了阐述；《贵金属新材料》的出版发行在国内外有色金属和贵金属界产生了较为广泛的影响；（2）发现Ir、Pt薄膜在金属钼基体上的沉积速率与基体绝对温度倒数之间呈抛物线变化的动力学规律，不同于其他研究者在陶瓷基体上获得的符合Arrhenius方程的沉积规律；（3）发现高温下CVDIr/Re复合材料界面的元素扩散基本上是单向扩散过程,即大量的Re元素向Ir涂层中扩散，而Ir向Re中的扩散很少，扩散系数与绝对温度之间的关系符合Arrhenius方程。根据实验结果推算得出，

Ir/Re复合材料在2200℃时的工作寿命为47.6h；(4) 探明了影响Ir-C和Pt-C簇膜碳含量与结构的关键因素是沉积过程中通入的反应气体氧气，发现高碳含量纳米结构的簇膜材料具有更好的催化活性。其催化活性比烧结纯Pt电极更强，氧气传感器响应时间更短；(5) 发现Ir-Rh合金的化学键并不是典型的金属键，具有共价键的特征，这是造成无限固溶Ir-Rh合金力学性质异常的根本原因；

(6) Nb/Re复合界面形成的 χ 相层厚及Nb固溶体与 χ 相层厚的比值是决定Nb/Re层状复合材料力学性能复合效应强弱的本质因素，并确定了Nb/Re界面中间化合物 χ 相的结构类型、热力学稳定性和力学性能；(7) 发现了CVDNb在高低温段（以1200℃为转折点）不同的Arrhenius动力学沉积规律和沉积速率控制机制；(8) 探明了CVDNb/C/SiC界面相结构、应力分布规律及复合材料强化机理，决定复合材料界面强度的主要因素是界面元素扩散、反应相结构及基体材料的组织结构变化；(9) 发现CVDTa的组织取向与沉积温度密切相关，反应气体的影响并不明显。1100℃时，形成了以(200)为最强择优取向的沉积组织；CVD Ta/W复合材料良好的抗拉强度和塑性性能主要源于材料晶粒组织控制及合适的复合界面扩散层的形成。

以上基础理论研究成果为研究开发高性能高温涂层材料、承力结构材料和功能催化材料提供了制备科学及理论基础支撑。研发的贵金属Ir涂层材料和Nb/Re、Nb/C/SiC难熔金属层状复合材料已成功应用于航天等高技术领域；研究成果出版专著1部，发表学术论文19篇，其中SCI收录15篇，EI收录4篇。累计他引174次，SCI他引45次；8篇代表性著作论文累计他引82次，其中SCI他引33次；获授权国家发明专利6件。

三、主要完成人对项目贡献情况

1、胡昌义（昆明贵金属研究所）

2项国家自然科学基金项目和2项云南省自然科学基金项目、人才培养项目的负责人，1项云南省自然科学基金项目的主要参与者。提出了研究的思路和方案，是8篇代表性论文著作的第一作者或通讯作者，17篇核心著作论文的第一作者或通讯作者；5件国家发明专利的第一发明人，1件发明专利的第二发明人。

2、魏燕（昆明贵金属研究所）

2项国家自然科学基金的主要参与者，负责贵金属及难熔金属CVD动力学规律及组织结构研究。是代表性著作的主要作者之一，代表性论文6的第一作者，代表性论文8的通讯作者，7篇核心著作论文的第一作者或通讯作

者，1 件国家发明专利的第一发明人，5 件国家发明专利的第二、第二、第三、第四发明人。

3、蔡宏中（昆明贵金属研究所）

1 项云南省自然科学基金项目的负责人，主要承担难熔金属 CVD 制备、结构分析及性能研究。是代表性著作论文 4 的第一作者，是 5 篇核心论文的第一作者，6 件国家发明专利的第三、第三、第三、第三、第四发明人。

4、陈力（贵研铂业股份有限公司）

3 个项目的主要完成人之一，承担所研制材料及器件的应用性能验证。是代表性论文 3 的第一作者，3 篇核心论文的第一作者或通讯作者。5 件国家发明专利的第二、第五、第五、第五、第六发明人。

5、张翎翔（贵研铂业股份有限公司）

2 个项目的主要参与人之一，承担材料制备试验、样品与产品加工及应用。是代表性论文 6 的第六作者，是代表性论文 8 的第七作者，4 篇核心论文的作者，2 件国家发明专利的主要发明人。

四、代表性论文专著情况

序号	论文专著名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码(xx 年 xx 卷 xx 页)	第一作者	SCI 他引次数	他引总次数
1	《贵金属新材料》/中南大学出版社/胡昌义, 刘时杰	--	2015 年 9 月	胡昌义	--	14
2	Iridium/Carbon Films Prepared by MOCVD/Platinum Metals Review/Changyi Hu, Jigao Wan and Jiaoyan Dai	0.57	2005, 49(2):70-76	胡昌义	3	5
3	Micro-structures and mechanical properties of Nb/Re Layered Composite produced by CVD/Materials Science and Engineering A/Chen Li, Wei Yan, Zhu Shaowu, Cai Hongzhong, Mao Chuanjun, Hu Changyi*	5.23	2012, 536: 1-7	陈力	0	6
4	Deposition Effectiveness Investigation of Ir Film Prepared by MOCVD/Rare Metal Materials and Engineering/ Cai Hongzhong, Chen Li, Wei Yan, Hu Changyi*	0.53	2010, 39(2): 209-213	蔡宏中	16	21
5	CVD 法制备的 Ir/Re 涂层复合材料界面扩散研究/稀有金属材料与工程/胡昌义, 陈松, 杨家明, 邓德国, 高逸群, 尹志民, 王云, 李靖华	0.53	2003, 32(10):796-798	胡昌义	7	20
6	Microstructure and deposition kinetics of Nb prepared by chemical vapor deposition /Modern Physics Letters B/Yan Wei, Da Wei Zhang, Jun Wang, Hong Zhong Cai, Xu Xiang Zhang, Li Chen, Jun Mei Guo and Chang Yi Hu*	1.67	2018,32(22):1850257 (11 pages)	魏燕	3	4
7	Finite element simulation and experiment study of residual stress distribution of CVD Nb-C/SiC composites/ Materials Research Express/ Zhilong Tan ,Li Chen, Ming Wen, Hongzhong Cai, Jialin Chen, Yan Wei, Junmei Guo,	1.62	2019, 6(11): 1-9	谭志龙	1	2

	Changyi Hu*					
8	基于第一性原理计算 Rh 含量对 Ir-Rh 合金力学性能的影响/物理学报/潘新东, 魏燕*, 蔡宏中, 祁小红, 郑旭, 胡昌义*, 张翎翔	0.82	2016,65(15): 156201	潘新东	3	10