

纳米晶钨基材料的制备与性能研究

吴早明¹, 张建², 王鹏³, 付恩刚¹

¹北京大学物理学院, 核物理与核技术国家重点实验室, 北京, 100871

²厦门大学能源学院, 厦门, 361100

³中国科学院兰州化学物理研究所, 兰州, 730000

Email: efu@pku.edu.cn

摘要: 钨由于其高熔点、低热膨胀系数、低溅射率、高热导率和高温下具有良好的强度而成为聚变堆中最具有应用前景的面向等离子体材料, 这些良好的特性使得钨能够适应聚变堆中高剂量的粒子辐照(如中子辐照)和高热流的环境。纳米晶钨材料由于存在大量的晶界和界面, 因此可以显著地提高材料的力学性能和耐辐照性能。本研究成功制备了平均晶粒尺寸为 10 nm 至 100nm 的系列纳米晶钨基材料。微观结构的研究表明: Y_2O_3 的添加能够通过晶间掺杂的方式抑制钨晶粒的长大, Ni 的添加能够促进钨的致密化烧结, Cr 和 Y 通过晶界处偏析和第二相钉扎作用抑制了钨晶粒的长大并提高了材料致密度, Y 的添加能净化和强化晶界。力学性能研究结果表明: 纳米晶钨基材料的硬度远高于 ITER 钨的硬度, 其主要原因是基于位错塞积而引起的晶界强化和基于第二相粒子钉扎作用阻滞晶界的滑移而引起的弥散强化。高温辐照实验结果发现: 同样辐照条件下, 纳米晶钨基材料的氦泡密度和肿胀率均低于 ITER 钨, 具有更高的耐辐照性能。该研究表明了纳米晶钨基材料作为聚变堆中面向等离子体材料具有非常好的应用前景, 具有解决面向等离子体材料面临的诸多问题的潜力。

关键词: 纳米晶钨; 晶界; 硬度; 辐照效应; 肿胀

基金项目: 科技部国家磁约束核聚变能研究专项基金 (2015GB121004, 2017YFE0302500 和 2018YFE0307100)