**大连理工大学提名2022年辽宁省自然科学奖项目公示**

**公示项目**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目名称：射频容性耦合等离子体的粒子模拟方法及电子加热机制** | | | | | | | | | | | | |
| **提名者：大连理工大学** | | | | | | | | | | | | |
| **一、提名意见:**  **该项目在国家重大科技专项及国家自然科学基金的资助下，针对半导体芯片制造工艺中使用的射频等离子体源，采用实验诊断、理论模型及数值模拟开展研究。创新点为：（1）实验上首次观察到“电子反弹共振加热”现象，并通过数值模拟揭示了共振加热的物理图像；（2）建立了自洽的二维隐格式的粒子模型（PIC/MC），突破了等离子体振荡周期对时间步长的限制，与传统的“显式格式”模拟方法相比，可以使数值仿真的速度提高50倍左右；（3）采用自主开发的 PIC/MC 模型，首次利用“电非对称效应”来调控工艺气体放电中的离子能量，有效性被德国鲁尔大学课题组的实验证实。基于这些成果，该团队成员在重要学术会议上作大会邀请报告 3 次、分会邀请报告 13 次。多次受国内外著名半导体设备公司邀请开展合作与学术交流。近五年，5 人次被等离子体领域最重要国际期刊约稿。因这些成果，第一完成人被评为欧盟“玛丽居里”学者和德国“墨卡托”学者; 第二完成人获亚太物理联合会颁发的“DPP Young Research Award”及首届等离子体科学技术“青年创新奖”；。**  **所有完成人拥护中国共产党的领导及国家政策，不存在师德失范和学术不端行为，积极参与本科生教学与研究生培养工作。**  **经审查，该项目申报材料属实。参照自然科学奖的评定条件和标准，拟提名该项目为2022年度辽宁省自然科学奖二等奖。**  提名该项目为辽宁省自然科学奖 二 等奖 | | | | | | | | | | | | |
| **二、项目简介:**  **本项目属于低温等离子体物理领域。基于射频等离子体技术的材料刻蚀和薄膜沉积工艺是半导体芯片制造的核心，研究射频放电机理、调控等离子体关键参数，不仅具有理论价值，对提高芯片制造水平也很关键。本项目瞄准射频等离子体中关键物理问题开展研究。为此，基于射频等离子体源，研制了多种实验诊断系统，建立了射频等离子体动理学模型。将实验和数值模拟相结合，研究了射频等离子体的加热机制、放电模式及离子能量的调控技术，取得了以下原创性的成果：**  **1.实验上首次观察到“电子反弹共振加热(BRH)”现象，将实验诊断与数值模拟相结合，清晰地揭示了 BRH 的物理图像。在共振条件下，被鞘层电场捕获的电子可以在两个鞘层之间多次反弹，类似于“乒乓球”运动。电子在每次“被弹开”的过程中获得能量，以致动能迅速累积而升高。BRH 产生的大量高能电子，显著提高了等离子体密度和发光强度。BRH 的发现不仅推动了射频等离子体物理的发展，而且对提高材料刻蚀率有重要的参考价值，多次被国际同行大篇幅积极评价并跟踪研究。**  **2. 面向射频等离子体工艺，建立了自洽的二维隐格式的粒子模型（PIC/MC），这种隐格式的粒子模拟技术突破了等离子体振荡周期的时间步长限制，可以使数值仿真的速度提高50倍左右，适用于大尺寸的等离子体腔室的数值模拟。模型有效性得到该团队的实验验证，为材料处理中关键等离子体参数调控提供理论依据。同时模型技术受到国际同行的广泛关注，并引领该方向的发展。**  **3.基于数值模型，首次采用“电非对称效应”，通过微调放电参数，在工艺气体放电中实现了对离子能量的大范围调控，这对材料处理工艺具有重要意义，并由此与德国鲁尔大学建立了国际合作，模型结果被德国鲁尔大学的实验所证实，并联合开展了系列研究。**  **上述科学发现，不仅推动了射频等离子体理论和数值模型的发展，也为离子能量的大范围调控提供技术手段和理论依据。开发的理论模型构成了国内第一款具有自主知识产权的等离子体仿真软件“MAPS”的核心框架。**  **团队成员多次受国内外著名半导体公司邀请开展合作与交流。5 名完成人作大会邀请报告 3 次（>500人出席），分会邀请报告 13 次。近五年，5 人次被低温等离子体领域重要期刊约稿。2011 年起，本领域顶级国际期刊总主编 Czarnetzki 教授提出并开展长期合作。因这些成果，第一完成人被评为欧盟“玛丽居里”学者和德国“墨卡托”学者；第二完成人获首届等离子体科学技术“青年创新奖”；** | | | | | | | | | | | | |
| **三、代表性论文专著目录(不超过5篇)** | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 论文专著  名称/刊名  /作者 | | | 年卷页码  （xx年xx卷xx页） | 发表时间年月 日 | 通讯作者  (含共同) | 第一作者  (含共同) | 国内作者 | | 他引总次数 | 检索数据库 | 论文署名单位是否包含国外单位 |
| 1 | Collisionless Bounce Resonance Heating in Dual-Frequency Capacitively Coupled Plasmas/PHYSICAL REVIEW LETTERS/Yong-Xin Liu, Quan-Zhi Zhang, Wei Jiang, Lu-Jing Hou, Xiang-Zhan Jiang, Wen-Qi Lu, and You-Nian Wang | | | 2011,107,055002 | 2011-07 | 王友年 | 刘永新 | 刘永新，张权治，姜巍，蒋相站，陆文琪，王友年 | | 56 | SCI | 是 |
| 2 | Implicit and electrostatic particle-in-cell/Monte Carlo model in two-dimensional and axisymmetric geometry: I. Analysis of numerical techniques/Plasma Sources Science and Technology/Hong-yu Wang, Wei Jiang and You-nian Wang | | | 2010,19,045023 | 2010-07 | 王友年 | 王虹宇 | 王虹宇，姜巍，王友年 | | 22 | SCI | 否 |
| 3 | Numerical simulations of electrical asymmetry effect on electronegative plasmas in capacitively coupled rf discharge/JOURNAL OF APPLIED PHYSICS/Quan-Zhi Zhang, Wei Jiang, Lu-Jing Hou, and You-Nian Wang | | | 2011, 109,013308 | 22011-0  1 | 王友年 | 张权治 | 张权治，姜巍，王友年 | | 19 | SCI | 是 |
| 4 | Separate control between geometrical and electrical asymmetry effects in capacitively coupled plasmas/ Journal of Physics D: Applied Physics/ Quan-Zhi Zhang, Shu-Xia Zhao, Wei Jiang, and You-Nian Wang | | | 2012, 45,305203 | 2012-07 | 王友年 | 张权治 | 张权治，赵书霞，姜巍，王友年 | | 19 | SCI | 否 |
| 5 | Heating mode transition in a hybrid direct current/dual-frequency capacitively coupled CF4 discharge/ Journal of Applied Physics/Quan-Zhi Zhang, You-Nian Wang, and Annemie Bogaerts | | | 2014，115, 223302 | 2014-06 | 张权治 | 张权治 | 张权治，王友年 | | 12 | SCI | 是 |
| **四、主要完成人(完成单位)** | | | | | | | | | | | | |
| **序号** | | **完成人姓名** | **完成单位** | | | | | | **工作单位** | | | |
| **1** | | **张权治** | **大连理工大学** | | | | | | **大连理工大学** | | | |
| **2** | | **刘永新** | **大连理工大学** | | | | | | **大连理工大学** | | | |
| **3** | | **王友年** | **大连理工大学** | | | | | | **大连理工大学** | | | |
| **4** | | **姜巍** | **大连理工大学** | | | | | | **华中科技大学** | | | |
| **5** | | **王虹宇** | **大连理工大学** | | | | | | **鞍山师范学院** | | | |