

浙江大学百人计划 期满总结报告

所在单位： 控制学院

姓 名： 倪东

职 工 号： 0014045

设岗学科： 控制科学与工程

填表日期： 2020/5/1

浙 江 大 学

填 表 说 明

- 一、浙江大学百人计划入选者聘期结束前 6 个月填写本表，填写内容必须实事求是。
- 二、本表内有关栏目填写不下的，可另附页。
- 三、本表内有关栏目成果填写要求是以浙江大学为第一署名单位的，否则请注明。

一、简况

姓 名	倪东		性别	男	国籍	中国	出生年月	1978/10
百人计划岗位类别	A 类	B 类	C 类	C 类（其他）	学科岗位名称	研究员		
		√						
聘期	2014 年 12 月 1 日 至 2020 年 11 月 30 日							
联系电话	18658151978				电子邮箱	dni@zju.edu.cn		

二、聘期内主要学术兼职情况（兼任专业学会、协会职务、专业期刊编委等，请注明起讫年月）

中国自动化学会集成自动化技术专业委员会委员 2018.6

三、聘期内教学科研情况

3.1 聘期内承担教学工作情况

授课名称	授课时间	授课对象	讲授课时数	教学评估
自动化前沿	2016 夏	研究生	4	
过程控制工程	2017 春夏	本科生	9	良好
认识实习	2017 短	本科生	16	
过程控制工程	2018 春夏	本科生	18	良好
过程动态学	2018 春夏	本科生	10	良好
过程动态学	2019 春夏	本科生	42	合格
智能制造工程学导论	2019 夏	研究生	8	
工程问题高效解决方法	2019 冬	研究生	16	
过程建模	2020 春夏	本科生	48	

3.2 聘期内承担主要科研项目

项目名称	项目性质及来源	项目经费（括号内为本人实际承担经费）（单位万元）	目前到校经费	项目起讫年月	本人排序
基于高效复合多尺度模型的微纳过程控制方法研究	NSFC 面上	81 (81)	81	2015/01-2018/12	1
等离子蚀刻微纳过程反馈控制的实时感知理论	NSFC 重点	237 (126)	237	2017/01-2020/12	1

与关键技术					
汽车电子产品线非标设备数据采集	横向	51.62 (51.62)	51.62	2019/06-2019/10	1
超临界 CO2 回热器特性研究与优化	横向	50 (10)	20	2019/01-2020/06	2
超临界二氧化碳循环特性研究	横向	92 (20)	30	2019/03-2020/12	2
3.3 聘期内获奖情况					
获奖项目名称	奖励名称及等级	授奖单位	获奖年月	本人排序	
3.4 聘期内获得专利情况					
专利名称	专利授权国、专利号	专利类别	授权公告年月	本人排序	
一种碟式镜面三维结构实时监控的方法	中国、201811115228X	发明专利	2020/04	1	
基于光谱成像的等离子体组分空间分布实时测量方法及其装置	中国、2018108583463	发明专利	2020/06	1	
3.5 聘期内代表性论文、著作情况（以浙江大学为第一署名单位，否则请注明）					
论文：论文题目，发表期刊名称，卷，期，起止页码，所有作者姓名（本人名字请加下划线，通讯作者名字上用*标示）	发表年月	是否被SCI、EI、SSCI、AHCI 收录	期刊影响因子	他引次数	
Multiscale modeling and neural network model based control of a plasma etch process, Chemical Engineering Research and Design, 2020, 164:113-124, Tianqi Xiao; <u>Ni, D*</u>	2020	SCI	3.350	0	
Qualitative and Quantitative Analysis of Multi-Pattern Wafer Bin Maps, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2020, <i>in press</i> , DOI: 10.1109/TSM.2020.3022431, Yuting Kong; <u>Ni, D*</u>	2020	SCI	1.977	0	
A Batch-Wise LSTM-Encoder Decoder Network for Batch Process Monitoring, Chemical Engineering Research and Design, 2020, 164:102-112, Jiayang Ren; <u>Ni, D*</u>	2020	SCI	3.350	0	
A Semi-Supervised and Incremental Modeling Framework for Wafer Map Classification, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2020, 33(1): 62-71, Yuting Kong; <u>Ni, D*</u>	2020	SCI	1.977	2	
A model-based approach for optical performance assessment and optimization of a solar dish, Renewable Energy, 2017, 100: 103-113, Gang, Xiao; Yang, T; <u>Ni, D*</u> ; Cen, K; Ni, M	2017	SCI	6.274	22	
A method for handling batch-to-batch parametric drift using moving horizon estimation: Application to run-to-run MPC of batch crystallization, Chemical Engineering Science, 2015, 127:210-219, Kwon, Joseph Sang-Il; Nayhouse, M; Orkoulas, G; <u>Ni, D*</u> ; Christofides, PD*	2015	SCI	3.871	18	
Run-to-run-based model predictive control of protein crystal shape in batch crystallization, Industrial & Engineering Chemistry Research, 2015, 54(16):4293-4302, Kwon, Joseph Sang-Il; Nayhouse, M; Orkoulas, G; <u>Ni, D*</u> ; Christofides,	2015	SCI	3.573	16	

PD*				
Observer and Filter Design for Linear Transport-Reaction Systems, European Journal of Control, 2019, 49: 26-43, Junyao Xie; Xu, Q; Ni, D ; Dubljevic, S*	2019	SCI	1.540	0
Heat Exchanger System Boundary Regulation, AIChE Journal, 2019, 65(8): e16623, Guilherme Ozorio Cassol; Ni, D ; Dubljevic, S*	2019	SCI	3.463	0
Thermal conductivity characterization of ultra-thin silicon film using the ultra-fast transient hot strip method, Chinese Physics B, 2019, 28(7): 078105, Yan-Yan Zhang; Cheng, R; Ni, D ; Tian, M; Lu, JW; Zhao, Y*	2019	SCI	1.469	0
Thermodynamic assessment of solar photon-enhanced thermionic conversion, Applied Energy, 2018, 223: 134-145, Gang Xiao; Zheng, G; Ni, D ; Li, Q; Qiu, M; Ni, M*	2018	SCI	8.848	4
Thermodynamic analysis of a gas turbine cycle combined with fuel reforming for solar thermal power generation, Energy, 2017, 137: 20-30, Mingjiang Ni; Yang, T; Xiao, G*; Ni, D ; Zhou, X; Liu, H; Sultan, U; Chen, J; Luo, Z; Cen, K	2017	SCI	6.082	9
Model Predictive Control of a Steam Methane Reforming Reactor Described by a Computational Fluid Dynamics Model, Industrial & Engineering Chemistry Research, 2017, 56(20):6002-6011, Wu, Zhe; Aguirre, A; Tran, A; Durand, H; Ni, D ; Christofides, PD*	2017	SCI	3.573	7
Recuperators for micro gas turbines: A review, Applied Energy, 2017, 197: 83-99, Gang, Xiao; Yang, T; Liu, H; Ni, D ; Ferrari, ML; Li, M; Luo, Z; Cen, K; Ni, M*	2017	SCI	8.848	34
Multiscale modeling and operation of PECVD of thin film solar cells, Chemical Engineering Science, 2015, 136:50-61, Crose, Marquis; Kwon, JS; Nayhouse, M; Ni, D ; Christofides, PD*	2015	SCI	3.871	19
著作：所有作者姓名，书名，出版地，出版社（本人名字请加下划线）	出版年月	个人字数	总字数	
3.6 聘期内担任国际学术会议重要职务及在国际学术会议大会报告、特邀报告情况				

四、聘期工作总结

本栏由本人填写，主要填写以下内容（不超过 3000 字）：

1. 聘期内履行岗位职责、完成岗位工作目标和任务情况（包括教学与人才培养、科研、学科与队伍建设等）

本人自入职以来一直尽心尽责的履行岗位职责、完成岗位工作目标。

在教学与人才培养方面，入职第一年就参与了本科课堂教学、次年参与了研究生课堂教学，第三年起参与了控制学院本科专业核心课《过程控制工程》的教学活动，也结合自身的研究领域为《过程控制工程》课程在批次过程控制方面带来了全新的内容。2017-2018 教学年度起逐步接手自动化专业本科专业必修课《过程动态学》课程（后相继更名为《过程建模》、《系统建模与仿真》）的教学与课程建设工作，逐步完成了原课程从过程原理（即《化工原理》）教学到以过程建模方法为启发的系统建模与仿真方法教学的重要转变，从无到有建设了该系列课程的教案及讲义。

在课外教学方面，作为研究生导师带领了 5 名直博研究生与 13 名硕士研究生进行科研与学习（毕业 6 人），同时先后指导了 12 人次本专业本科生的毕业设计、30 人次本科 SRTP 项目，在课堂以外的多个层次培养学生。本人还积极参加学院及学校层面教学相关的服务活动，还担任了学院本科教学委员会的分项小组负责人。

在科研方面，以智能制造为核心方向，围绕集成电路制造与聚光发电两个主要应用领域为推手，将先进的自动化与控制方法与理念、人工智能与大数据方法、高性能计算手段综合应用到交叉学科的研究中去。与校内相关学科团队联合建设了等离子刻蚀实时感知与实时控制实验平台以及中央聚光-热化学储能-布雷顿循环优化控制实验平台，并获得了一系列创新成果（具体细节见下文），顺利完成了 NSFC 面上项目一项，牵头申报并成功获批了 NSFC-浙江联合基金重点支持项目。

在企业合作与科技成果转化方面，在集成电路制造产业，先后与 Intel、力特半导体、中芯国际、华力微电子建立了科研合作关系，以研发项目以及合作研究等形式将科研成果在生产实际过程中进行验证与应用；在聚光发电方面，先后与中控太阳能、中光新能源、上海电气、国能集团建立合作关系，共同酝酿一系列聚光发电领域的核心智能制造技术。

在学科与队伍建设方面，本人以微纳制造与可再生能源为主线，瞄准学科发展前沿，开展高水平学术研究活动，特别是在交叉学科研究领域，极力推进自动化学科与相关学科的交叉合作，为学科发展建设新的增长点。在国际交流合作方面，本人持续邀请国际相关领域的专家来校进行学术交流、合作研究以及课程教学，目前正积极推动两名外籍外裔的 Top 100 学校长聘教职学者申报短期人才项目及一名 Top 10 学校青年学者申报长期人才项目。本人多次参加国际顶尖学术会议进行学术交流与学科宣传，为促进本学科的国际合作与交流、提升国际影响做出了积极的贡献。本人亦积极的参与其他学科建设相关事务，如学科、重点实验室评估材料的准备，学科宣传材料对外英文网

站的建设等等。

2. 聘期内取得的重要成果的内容、意义和前景，并着重说明其突破和创新之处

(1) 基于深度人工智能的晶圆图分析算法

晶圆图类数据是集成电路制造过程关键性数据综合呈现的数据形式，基本形式是将数据记录与其在晶圆上直接相关的空间位置结合作为数据的基本单元，通常按照其空间位置关系进行可视化呈现，故称晶圆图。虽然其在可视化呈现时（并非必须）与图像类型数据类似，但现有的图像分析方案难以直接应用，主要是因为以下问题：（1）空间特征不明确、不稳定，特征依附于某特定的故障类型在某特定的时期对某特定的产品的综合作用不断变化，而强相关的数据量相对于工艺过程的复杂度而言又总是不充分的；（2）数据高维度、高稀疏，高度集成特性而带来的系统复杂度、数据维度极高，与质量相关的缺陷信息极为稀疏却因水桶效应极为关键；（3）数据类型与分析目标高度多样化：制造过程高度复杂设备种类众多，晶圆图类数据类型繁多，分析目标千差万别，信息碎片化严重。

本研究主要围绕以下课题展开：

1) 晶圆图几何特征分析：主要解决晶圆图类数据的“图”相关信息即空间几何特征的分析与应用。完成了基于半监督学习的晶圆图几何特征建模与分析，即利用少量标注样本建立高质量的模型并持续改进，通过降低模型质量对数据量的依赖度，减小数据特征不明确与不稳定性带来的影响；基于主动学习的人在环建模与分析机制，即使用算法优选未标记样本进行人工标记，引入“人”（即工程师）进入建模环路，快速有效的提升分析模型性能，通过工程师经由数据间接传递给模型的知识，提升分析算法对数据特征的不明确性与不稳定性的适应能力；以及基于单样本学习的未知类型晶圆图分析，研究数据特征不明确不稳定的极端形式即未知类型（新类型）数据的学习与分析问题，如何通过辨识未知类型样本、聚集相同类型的未知类型样本，再利用聚集的样本集进行小样本学习，最终形成一定的自主学习能力。

2) 高维稀疏数据信息提取：此项研究内容主要解决晶圆数据的测量、测试数据本身的高维度高稀疏性带来的信息提取问题。主要完成了基于先验概率模型的超大规模晶圆图分析，即解决超高分辨率高稀疏性晶圆图的分析问题。研究如何通过概率构建的先验模型来有效率的对稀疏数据进行采样提取，大幅度降低对超大规模晶圆数据的运算量需求。

3) 晶圆图分析综合构架：即应用上述研究的成果，解决实际应用中的常见晶圆图类数据分析任务，包括在多种类型及多种任务的晶圆图分析中的应用，并在不同类型及任务的

晶圆图分析模型间的迁移学习

本研究的主要突破与创新之处在于：

- 1) 提出了一种将半监督学习与主动学习相结合的小样本晶圆图类数据智能分析建模方法，针对性的解决了晶圆图类数据数据特征不明确、不稳定、相关样本少的建模难点；
- 2) 首创了解决高维度高稀疏性晶圆图类数据的系统性分析方法，填补了此类数据的分析方案的空白；
- 3) 提出了一种基于子模型构建复杂多任务深度神经网络模型并在子模型中实现有效的迁移学习的方法，为系统性构建复杂深度神经网络模型提供了一条实现路径。

集成电路产业是国家科技水平和综合实力的重要体现，是国家技术进步和产业转型升级的重要保障，是事关国家经济安全和国防安全的战略型产业。近年来，我国集成电路产业快速发展，整体规模显著提升，但技术水平（特别是集成电路制造技术水平）与先进国家与地区相比依然存在较大差距，主要体现在先进工艺制程的研发与量产化能力上，故此我国高端集成电路产品大量依赖进口，难以对构建国家产业核心竞争力、保障信息安全等形成有力支撑。先进工艺制程高度复杂（数百种加工设备、上千个加工工序、2~3 年更替代），其研发与量产化高度依赖对工艺及生产数据的分析与理解。因此数据工作的技术水平和效率是决定集成电路企业先进工艺制成研发与生产能力的重要因素之一。本项目对其中最为重要的晶圆图类数据的分析方法展开研究，有望大幅度提高我国集成电路工艺研发与量产化过程中对关键数据的分析与利用效率，加快产业攻克先进工艺制程的进度，逐步建立我国集成电路产业智能制造优势。

（2）等离子刻蚀过程的实时感知与控制

等离子蚀刻微纳加工工艺是一种极为关键且非常典型的微纳制造工艺，在广义半导体制造（包括集成电路、平板显示器、光伏、LED 照明等）中，等离子蚀刻装备占有所有装备总量的约 20%。等离子刻蚀过程目前采用的是简单批次过程控制方式，和绝大多数微纳加工工艺类似，虽然批次控制的效果不尽如人意，但因为缺乏微纳尺度实时感知的手段，实时反馈控制难以得到应用。本研究力图通过多尺度模型与光谱图像感知技术，实现对等离子刻蚀过程的实时观测与实时控制。

本项研究主要围绕以下课题展开：

- 1) 等离子刻蚀过程的多尺度建模与仿真：主要解决等离子刻蚀过程的高精度仿真模型

的构建与实施观测器及模型预测控制器模型的建立。完成了基于有限元宏观模型与动力学蒙特卡洛微观模型的等离子刻蚀过程高精度仿真模型；基于众核异构计算体系设计并实现了全自主代码的并行动态蒙特卡洛算法以及有限元求解器；提出了基于神经网络模型微观观测器及基于观测器的预测控制器。

2) 等离子刻蚀过程光谱信号的采集：主要解决等离子刻蚀过程实时过程信息的获取。完成了基于声光可调滤波器 (AOTF) 的高光谱采集装置的设计与原型机的实现，并开发了相关的信号增强算法与采集控制软件；设计了基于 AOTF 的高光谱压缩感知算法，提出了高空间分辨率应用下的高速采集方法及应用于过程监测的实施方案；设计了基于数字微镜晶片 (DMD) 的高光谱压缩感知算法，提出了高光谱分辨率应用下的高速采集方法及应用于过程检测的实施方案。

3) 等离子刻蚀过程光谱信号的分析：主要解决了高维光谱信号在等离子刻蚀过程监测中的数据解析问题。提出了一整套光谱动态分析方法，综合运用多变量统计、小波分析、数据降维等方法自动提取具有显著过程动态的光谱特征峰，并结合海量原子、分子谱线数据库与反应动力学对特征峰进行成分标定，进而基于相关特征峰组合建立组分相对浓度估计模型；提出了基于季节性差分自回归滑动平均模型 (SARIMA) 的等离子刻蚀过程故障监测方法，引入了多阶段自动辨识算法并设计了三步对齐算法，提出了能处理显著批次内与批次间工况漂移 (典型的等离子蚀刻过程特性) 补偿算法；提出了基于长短期记忆网络模型 (LSTM) 的批次过程故障监测算法。

本研究的主要突破与创新之处在于：

- 1) 首次建立同时包含反应器尺寸宏观模型与原子级分辨率微观模型的多尺度等离子刻蚀过程动态模型，并是在多核异构的并行计算架构上；
- 2) 首次将高光谱技术应用到了等离子加工过程的实时监测与控制中，并基于压缩感知算法，提出了高光谱分辨率与高空间分辨率两套高速采集方案；
- 3) 提出了完整解决等离子刻蚀及其它等离子加工过程故障诊断中多阶段、强漂移的故障诊断方案。

解决等离子蚀刻微纳加工过程的微纳尺度实时感知问题，不仅为反馈控制在等离子蚀刻中的应用奠定了基础，也对其它微纳制造过程中的实时感知问题的解决、乃至微纳制造行业的整体工艺水平的提升提供了极具现实意义的参考。

(3) 聚光发电的仿真、建模、优化与控制

太阳能聚光发电在大规模储热技术的配合下,可以提供稳定的高品质电能,近年来备受关注。太阳能本身具有高度的间歇性与波动性,而聚光发电之所以可以做到连续稳定发电甚至调峰发电,主要原因是可与低成本的储能技术即储热技术相配合,另一方面,由于聚光集热装置可以获得较高的运行温度,与采用布雷顿循环的燃气轮机(空气及未来超临界二氧化碳工质)相配合,可以达到非常高的发电效率。然而这样相对复杂系统的运行,在波动性很高不可控的能量源的影响下,需要有效控制与优化运行策略去真正实现其潜力。

本项研究主要围绕以下课题展开:

1) 基于蒙特卡洛光线追踪仿真的定日镜优化、镜场控制与监测:聚光装置(定日镜与定日镜组成的镜场)作为聚集太阳能量(超过1000倍)的核心组成部分,直接影响到了聚光发电系统能量转换效率与总体性能。蒙特卡洛光线追踪(MCRT)方法能精确的描述复杂的聚光场景,因此本项研究以MCRT仿真计算为基础展开聚光装置的优化与控制研究。对于单面定日镜,我们发现了以春分秋分为设计点的镜面形态并非全年最优,进而提出了季节性镜面可调定日镜方案;对于安装在镜场中的定日镜,我们通过仿真模型与实际测得聚光光斑的对比,辨识出实际定日镜等效光学参数,以监控定日镜形态及转角的在线镜场监测方法;对于运行中的镜场,结合云预测,优化聚光策略(或维持稳定平坦的聚光光斑)。

2) 基于深度学习的局部短时云预测与太阳辐射预测:主要利用历史全天空(云)图像,预测镜场范围内未来短时的云变化及地面阴影变化。我们提出了基于卷积LSTM(convLSTM)算法的预测模型,能准确的预测30分钟内(聚光电站一般决策周期)云团及太阳直接辐射变化,即便在天气情况变化下也有稳定的表现;另一方面,我们自主研发了全天空相机系统与优化曝光策略,以获取更为准确的云团信息。

3) 包含热化学储能、燃气轮机的聚光发电系统运行控制:即针对太阳能集热储热的布雷顿循环系统,设计有效的控制策略。具体工作包括建立了太阳能集热储热空气布雷顿循环仿真模型,能较为准确的体现该系统的稳态及动态特性;设计并仿真比较了恒定转速、恒定透平进口温度、恒定透平出口温度和最高系统效率四种控制方案下的闭环性能;建立了热化学储能装置的有限元模型并研究了其在闭环控制运行中的动态特性。

本研究的主要突破与创新之处在于:

- 1) 将蒙特卡洛光线追踪引入聚光发电系统的运行优化中(而非局限于系统设计),实现对聚光发电系统运行的动态优化与预测控制;
- 2) 依托深度学习解决了在天气变化情况下云运动的准确预测;
- 3) 设计并分析了太阳能集热储热的布雷顿循环系统控制系统与控制策略。

在聚光电技术的发展初期就积极将智能制造技术与理念引入该领域，使得该领域能从更底层更核心的环节获取智能制造的助力，从而对技术的发展拥有更广阔的选择与实施空间。上述研究的成果及启示将与聚光电技术一起发展与成熟，作为关键性核心技术的显示其价值。

3. 对比岗位目标和任务，说明完成情况以及存在的问题

对比岗位目标和预期计划，本人在教学、科研、学科建设、社会工作等方面较为全面均衡的完成了预期计划，基本达到预设目标。教学、科研已基本步入正轨全速推进，学科建设、社会服务方面也逐步发挥自己的能力做出贡献。当然，目前的工作表现还是有很大提升空间的，主要存在的问题在以下两个方面：

1) 对海外青年学者及海内外博士后人才的吸引方面缺乏建树，其原因一方面是因为从事的交叉学科领域比较前沿比较小众，人才存量较少，另一方面是因为在过去近十年中脱离学术圈，不具备由长期合作学者、毕业学生等形成的学术界人力资源网络；针对上述原因，本人需要进一步加强学术交流强度扩大学术交流范围、有针对性的融入国际国内学术交流网络，更为积极的物色合适的青年人才。

2) 在等离子刻蚀过程感知与控制项目上对主要实验装置的选型缺乏经验与充分的调研，导致研究难度急剧增加，研究项目的推进收到了很大的阻力。该项目的核心实验装置是等离子刻蚀机，价值 200 万元，该项目中感知基于的主要信息是等离子体的光谱图像信息，需要能够直接采集等离子发生区的光谱图像信息，然而所采购的设备为了同时顾及加工质量等需求，采取了柱状等离子源，导致等离子发生主体区域不可视，只能利用反光（包含多次反射）信息，极大的增加里信息处理分析的难度。导致选型错误的原因主要是本人长期利用实际生产线上的 300mm 等离子刻蚀机进行研究（均采用平板式等离子源），而上一代（即 200mm）等离子刻蚀机大多采用柱状等离子源，而一般科研团队无法承担 300mm 等离子刻蚀机的资金投入，故此忽视了该关键性问题。在该项目后期推进过程中，一方面我们力图通过算法研究攻克多次反射光谱图像的信息分析（主要依赖深度神经网络），另一方已经联系专门设计定制了基于平板等离子源的 200mm 等离子刻蚀机。