|  |  |
| --- | --- |
| 资助编号 |  |

华中科技大学本科生自然科学创新基金

申请书（机械学院初步申报版）

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称： | 基于激光可编程表面处理的可拉伸电子 |
| 申请人： | 郑亚宁 |
| 申请人学号： | U202210736 |
| 移动电话： | 13329430808 |
| 电子邮件： | 1787880842@qq.com |
| 所在院系： | 机械科学与工程学院 |
| 填表日期： | 2024年05月22日 |

华中科技大学本科生院制

2024年5月

基本信息

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 申请人信息 | 姓名 | 郑亚宁 | 性别 | 女 |
| 出生年月 | 2004年06月  4 | 民族 | 汉 |
| 导师姓名 | 张帆 | 导师职称 | 副研究员 |
| 学籍单位 | 机械科学与工程学院院（系）  职称 | 学号 | U202210736 |
| 电子邮箱 | 1787880842@qq.com | | |
| 手机号码 | 13329430808 | QQ | 1787880842 |
| 研究领域 | 柔性电子，可拉伸电子，裂纹控制 | | |
| 是否基础学科拔尖学生培养计划2.0基地 | | | □是 ☑否 |
| 项目基本信息 | 项目名称 | 基于激光可编程表面处理的可拉伸电子 | | |
| 英文名称 | Stretchable electronics based on laser programmable surface treatment | | |
| 研究期限 | 2024年2月20日---2025年5月30日 | | |
| 研究方向 | 激光可编程表面处理的可拉伸电子工艺 | | |
| 申请金额 | 五（万元） | | |
| 中文关键词 | 激光直写，可编程，表面处理，可拉伸电子，航空航天 | | |
| 英文关键词 | Laser Direct Writing,Programmable,Surface Finish,Strechable Electronics,Aerospace | | |
| 中文摘要 | **（本部分内容字数不超过500字）**  在极端环境下，由于航空航天装备各部件材料特性不同，在复杂工作环境下会产生大幅变形且载荷分布不均，这要求装备中的柔性部件可以承受较大的拉伸（弯曲）变形，并且刚性部件的小变形能够被精确测量。因此需要具有“可编程”（即拉伸性能分区）与“大面积”特征的柔性电子，然而，可拉伸电子中使用的许多功能材料，大多是硬而脆的，因此在拉伸过程中会不可避免地出现许多裂纹。  本项目是提供一种用于简易制备基于激光可编程表面处理的可拉伸电子的工艺方法。本项目通过激光在柔性基底表面扫描形成“沟壑”微结构，控制功能材料的裂纹扩展，可以有效定制其应变能力，实现单点拉伸性能可控，整体分区可调的功能。并且通过对不同基底、功能材料、激光参数、填充图案对沟壑几何参数影响规律的探究，目前可以实现应变从2%到52%调控，灵敏度可从2到1800的范围内调整，绝大多数材料适用，可与其他宏观结构/材料设计相结合，同时使用进一步增强性能，具有应变范围大、灵敏度大范围可调，可以的特点。利用传感器准确测量获得装备关键参数，有效地获得航空航天装备的变形状态信息，这对其的结构设计优化与实时控制具有重要意义。 | | | |

报告正文（从以下三方面进行阐述，不超过3000字。请勿删除或改动下述提纲标题及括号中的文字。）建议2-3页

|  |  |
| --- | --- |
| 研究初衷 | （为什么选择该研究课题？）  在极端环境下，由于航空航天装备各部件材料特性不同，在强辐射、高低温、强冲击、高速、高压等因素作用的复杂工作环境影响下，会产生大幅变形且载荷分布不均，难以实现传感器在不同观测区域的性能设计，为保证其正常工作，要求装备中的柔性部件可以承受较大的拉伸（弯曲）变形，并且刚性部件的小变形能够被精确测量。因此传感器需要具有“可编程”（即拉伸性能分区）与“大面积”的特征，利用传感器准确测量获得装备的拉、压、弯、扭 等变形和表面流速、温度、压力等关键参数，有效地获得航空航天装备的变形状态信息，这对其的结构设计优化与实时控制具有重要意义。  drag5970744220449286659  图1:左图为在 MAS 项目中，洛马公司提出的 Z 型折叠机翼方案，右图为航天降落伞在工作过程中会经受高速气流等环境因素的影响，其结构的应变分布图 |
| 前期工作 | （前期做了哪些思考和准备？包括但不限于查阅文献、理论分析、实验验证等）  可拉伸电子器件包括仿生表皮电子和可植入电子设备等各种可拉伸电子器件，具有高稳定性、在高应变（>100%）下具有高导电性以及与活性层的工艺兼容性，可以实现弹性拉伸性，对任意复杂曲面实现共形贴附包裹，且能维持稳定的电学性能。因此被广泛应用于健康监测、康复医疗、智能工业及航空航天等领域。  然而，可拉伸电子中使用的许多功能材料，大多是硬而脆的，因此在拉伸过程中会不可避免地出现许多裂纹。  目前的几种控制裂纹的方式就是1）通过影响聚合物/复合材料的分子取向，诱导裂纹图案化。2）通过在基底与功能材料之间加入石墨烯/弹性体纤维/纳米材料等夹层，使裂纹偏转。3）通过设计原始微裂纹，控制裂纹扩展方向，抑制其传播。  drag2533876111735828399  图2:依次是分子取向诱导图案化，夹层结构实现裂纹偏转，设计原始裂纹抑制传播  但这些工艺具备如下其中之一或几个缺点：1）普适性差：对象性太强，只能进行一种应变状态的制作（敏感/抗拉），拉伸方向有限。2）性能稳定性、耐久性差、动态性能差：不能重复利用或在重复伸展和弯曲后出现疲劳和损坏，电导性能会发生很明显变化。3）工艺复杂：制造工艺繁琐复杂，难以大面积应用。  然而，要加工这种抑制裂纹的结构可以通过光刻、荫罩、微接触印刷、喷印等工艺实现，但对比发现各种工艺都存在一系列问题，因此我们提出了一种基于激光可编程表面处理的加工工艺，对比其他工艺有适用材料广。分辨率高，经济高效的优点。    图3:为各种加工微结构的工艺与本自然基金项目工艺对比图  针对现有需求及现有技术的缺陷，本项目是提供一种用于简易制备基于激光可编程表面处理的可拉伸电子的工艺方法。研究激光烧蚀参数对不同柔性基底拉伸性能的影响关系，探究处理图案的不同几何参数对拉伸表现的影响，实现高可拉伸柔性器件制备。  目前，已经探究PDMS为基底的激光参数对沟壑几何参数与拉伸性能、灵敏度的影响并且进行了SEM与共聚焦显微镜观察与初步展示。    图4:为不同激光参数的应变-电阻图    图5：为不同图案不同倍率的SEM图    图6:为目前的应用展示，左图为运动捕捉，右图通过LED展示应变状态下本工艺处理的稳定性drag6528392531754746463drag6842740984938487391  图7:为参考文献 |
| 研究内容 | （包括研究目标和拟解决的关键问题，以及拟采取的研究方法、技术路线等）  **1.研究目标、研究内容和拟解决的关键问题**  **研究目标：**  针对现有的上述工艺存在诸多问题，**亟需开发一种基于激光表面处理的可拉伸电子的制备工艺，来实现准确测量获得装备关键参数，有效地获得航空航天装备的变形状态信息，**这对其的结构设计优化与实时控制具有重要意义。    图8:为本工艺的研究思路  **研究内容与拟解决的关键问题：**  **研究内容1：激光烧蚀参数设置的影响与不同基底的适用性。**  针对柔性部件需要承受较大的拉伸（弯曲）变形，刚性部件的小变形需要精确测量的问题，探究激光烧蚀参数设置的对于拉伸性能与灵敏度的影响，通过分别调控不同激光烧蚀参数（激光功率，激光速度，激光频率，填充间距）分别在不同弹塑性材料上的处理，探究其对沟壑状微结构的几何参数影响规律，从而完成不同材料的拉伸性能、灵敏度选择性调控。  **研究内容2：探究不同处理图案对拉伸表现的影响。**  针对拉伸性能、灵敏度范围进一步提升，探究不同的图案、结构设计对于拉伸性能与灵敏度的影响，并且与不同激光烧蚀参数耦合，设计出对应不同拉伸性能（大应变、高灵敏、不能拉伸、单向拉伸、多向拉伸）的参数设计。  **研究内容3：可编程表面处理的可拉伸电子的系统集成与展示**  针对有效定制其应变能力，实现单点拉伸性能可控，整体分区可调的功能。通过LED阵列展示材料拉伸性能对比，随后在柔性基底上铺设电路验证在材料伸缩变形的过程中LED依然保持常量且电流电压无明显抖动。在压敏传感器方面，通过设计不同的空心微结构、改变固化温度、调整溶液中MgCl2含量，探究传感器性能与空心微结构之间的规律。通过压力传感展示本工艺产品的可拉伸性能、良好的动态稳定性。先实现正常的压力检测，与铺设在柔性基底上时得到的数据进行对比分析，找到干扰规律，并通过滤波等方式进行数据处理，消除干扰。将本工艺产品拉伸可控，电导率稳定等优势直观展现出来。  **2.拟采取的研究方法、技术路线**  **研究内容1：激光烧蚀参数设置的影响与不同基底的适用性。**  通过ABAQUS仿真模拟拉伸试样在不同激光烧蚀参数处不同基底的环境进行有限元分析。通过实验验证结果可靠性，采用硬塑性材料PI与弹性材料PDMS作为基底，（以探究激光功率为例）在两种材料上分别用10%-100%（以10%功率递增）的激光功率扫描相同图案（平行拉伸方向和垂直拉伸方向的矩形图案），通过SEM观察激光扫描后形成的沟壑的几何参数，根据实验结果仿真沟壑的几何参数对拉伸性能的影响，并且在激光扫描后的部分进行磁控溅射镀上Au/Cr膜，对其进行力学、电学性能进行测试，对比不同参数的拉伸能力与灵敏度，并且将拉伸后的试样再次观察，寻找不同弹塑性材料的应变提升因素，如裂纹控制，形成特殊弹性微结构等等，对比仿真结果，验证不同基底和金属材料、厚度的适用性，寻找最适激光烧蚀参数。  **研究内容2：探究处理图案的不同几何参数对拉伸表现的影响。**  分别进行实验验证不同弹塑性材料（PDMS和PI），不同图案（剪纸，蛇形，矩形，分形，点阵，岛型，摩天轮型等）在激光扫描后拉伸性能的影响。绘制电阻-应变曲线，在测定其断裂时的应变并作对比。用SEM观察处理界面的尺寸得到形成沟壑的参数，再进行仿真分析不同图案激光处理后形成的微结构对拉伸性能提高的因素。  **研究内容3：压力传感器的制备**  离子液体熔点和玻璃化转变温度调控：尝试二元电解质（B1G1,B2G1,B10G1）混合，测定DSC曲线、粘度及电导率，初步探究和验证材料体系的可行性。制备泡沫基离子电子压力传感器，测试压力响应，测定不同配比下传感器的工作温度范围。测试传感器力学性能：测定PU-IL泡沫和PU泡沫的应力应变曲线，测试传感器性能，调节泡沫材料孔隙率、PU与IL的质量比：测定传感器电容-压力曲线、响应速度、峰值压力下压缩释放和弯曲释放循环的稳定性、高压分辨率、对不同温度和湿度环境的适应性。探究IL在复合泡沫中的稳定性：SEM观察浸泡IL后PU骨架的微结构和孔隙率变化，测定IL在PU板上的接触角，根据EDS映射图像观察IL在三维骨架上的分布情况  **研究内容4：系统集成与应用展示**  为实现LED阵列发光图案的控制与压敏传感器的数据收集与处理，先对整体电路进行PCB设计，以STM32f1系列芯片作为主控，编写相关代码并在硬质板上进行功能性验证，随后在柔性基底上铺设电路并完成修改和调试。最终实现LED阵列图案的可控显示与压敏传感器的实时显示 |

申请人简历

|  |  |
| --- | --- |
| 教育经历 | （从高中开始;大学期间教育经历需写明所在院系）  **高中：黑龙江省牡丹江市宁安市第一中学**  **大学：湖北省武汉市洪山区华中科技大学机械科学与工程学院测控技术与仪器专业** |
| 项目经历 | （曾参与的科技活动或项目）  **1.国家自然科学基金杰出青年基金项目**  **项目名称:柔性电子制造技术与装备**  **项目编号:51925503**  **在本项目中主要承担低温压力传感单元的制备与工艺优化，完成了全聚酰亚胺的电容式压力传感器校准，为该项目核心成员之一。**  **2.国家自然基金面上项目**  **项目名称：柔性微腔阵列流体自组装成形及可编程触觉压力感知研究**  **批准号：52375568**  **在本项目中主要承担低温压力传感单元的制备与工艺优化，完成了全聚酰亚胺的电容式压力传感器校准，为该项目核心成员之一。**  **3.校级基金项目**  **《深低温柔性电子皮肤设计与压力感知应用》**  **项目编号 2023JYCXJJ037**  **研究成果：开发用于低温风洞与空间机器人的耐低温柔性电子皮肤,与层流短舱模型及空间柔性机械臂结合，完成在低温风洞以及模拟太空环境中的分布式压力测量与应用。拓展柔性电子皮肤的耐低温极限，解决深低温环境下大面积分布式压力感知难题**  **在本项目中主要承担低温压力传感单元的设计与制备工艺、空间机器人集成与人机交互应用，为该项目核心成员之一**  **4.作为队长参加2024微纳传感器大赛，项目名称：基于激光可编程表面处理的可拉伸电子；指导老师为：张帆，黄永安**  **5.作为队长参加2024大学生创新创业训练计划项目，项目名称：基于激光可编程表面处理的可拉伸电子（编号JX2024011）已立项，正在项目升级**  **6.2024年1月与同济医学院研究生组队进行 基于经血血液量无线监测的智能内裤 项目中 进行无线传输的湿度传感器的设计和制作**  **7.参加2023中国一汽第三届先进制造技术“旗智 IM”高端论坛**  **8.参加诺奖讲座《跨尺度“复杂系统”：谈略世界中的最简科学规律》**  **9.参加首届地外建造学术研讨会**  **10.参加2023空军航空开放活动**  **11.参加第二十届长春汽车博览会**  **12.工程实训创新中心优秀协管员**  **13.2022-2023 STAR团队负责人**  **14.2022年10月加入黄永安老师数字制造装备与技术国家重点实验室本科生团队Chinamaker团队**  **15.校重点专项：作为队长前往长春双阳工信局进行实习,期间走访调研了包括中国一汽在内的二十多家企业，形成了近万字关于企业数字化转型的调研报告，获得优秀实习生称号，并且在青年人才座谈会上作为华中科技大学学生学生代表发言.实践队由机械学院推荐到校优秀实践团队，就业指导中心推荐至校级优秀个人。** |
| 成绩奖励 | 本科学业成绩、加权排名和获得奖励情况（如论文、专利、奖项等，高中期间获得全国性学科竞赛奖项也可列出）  **目前加权成绩：80.13，加权排名11/48**  **2023.10科技创新奖学金**  **2023.10优秀学生干部奖学金**  **2024.1机缘奖学金**  **2024.5无锡惠山太湖奖学金**  **2023.8“青春建功，政在双阳”优秀实习生**  **2023.10社会实践校级优秀团队（作为队长），校级优秀个人**  **2024.3 共同第一作者 IEEE会议Research on illegal wildlife trade based on data-driven and ARIMA predictive models**  **2024.5发明专利：《一种基于激光可编程表面处理的可拉伸电子的制备方法》（已提交）** |

项目承诺

|  |
| --- |
| 本人承诺遵守学术伦理，承诺遵守国家和学校规定，合法合规使用项目经费；承诺按照申请书制定的目标和计划完成项目；如在项目结题之前毕业，本人承诺按本科生院要求结题。    承诺人：  年 月 日 |

导师意见

|  |
| --- |
| 对项目创新性及申请者的思想素质、科研能力、创新潜力和拟开展的研究工作的评价,是（否）同意申报。    导师:  年 月 日 |