

PVD 法结构功能一体化温度压力薄膜传感器

邹靖, 范江滔

(广东工业大学, 广东 广州 510006)

摘要: 提本项目研究温度/压力传感防护一体化薄膜传感器, 使传感器可直接在苛刻使役环境下原位测量温度、压力等信号, 依托新型 PVD-ALD 复合技术, 制备绝缘性能好、结合力佳且较薄的薄膜, 通过等离子刻蚀和过渡层改善界面结合, 保证测量信号准确快速, 结合耐磨防护涂层, 探索减小传感器作用的厚度、尺寸, 为微纳型原位传感器提供设计依据。

关键词: PVD 技术; 薄膜传感器

PVD method structure and function integration temperature and pressure film sensor

Huan Jing, Fan Jiangtao

(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, Guangdong, China)

Abstract: Mention this project study temperature/pressure sensor integration of protection film sensor, the sensor can be directly b in the harsh environment of in situ measuring signals, such as temperature, pressure, relying on new PVD - ALD composite technology, the preparation of insulation performance is good, good adhesion and thin film, improve the interface bonding through the plasma etching and transition layer, guarantee the accuracy of the measurement signal quickly, Combined with the wear-resistant protective coating, the thickness and size of the sensor can be reduced to provide a design basis for the micro-nano in-situ sensor.

Keywords: PVD technology; Thin film sensor

1 传感器设计背景和应用价值

设计背景: 本项目满足工业中国制造 2025 的大背景下对智能制造与智能装备的新需求。

应用价值: 通过材料结构和工艺设计, 实现在工具、零部件运转过程中原位测量温度、压力实时信号, 在保证测量信号准确快速的同时不影响工具零部件在苛刻使役环境下的性能, 可实现面向智能制造的结构功能一体化涂层在刀具、模具和零部件产业的示范性工程应用。

2 创新点与优势

传统传感器为分立式器件，且难以直接在摩擦磨损、氧化腐蚀等苛刻使役环境下工作，因此类传感器与实际的测量表面有距离，无法准确反映机械零部件的温度压力等实时工作状态，可靠性较差。

本项目研究的结构功能一体化薄膜传感器，可使传感器直接在苛刻使役环境下原位测量温度、压力等信号。如何将薄膜传感器埋入在耐磨防护涂层下稳定工作的一大难题是绝缘层技术，本项目研究了新型 PVD-ALD 复合技术，制备绝缘性能好、结合力好、厚度小的绝缘膜，通过气体等离子刻蚀和过渡层改善界面结合问题，在保证测量信号准确快速的同时，不影响工具零部件在苛刻使役环境下的性能。

此外本项目结合对耐磨防护涂层和微纳薄膜传感器的研究，为微纳型原位传感器提供了设计依据。

3 实现方案简介

3.1 设计原理

压阻/热电阻是依据材料的电阻随压力/温度变化而变化的理论制成的。传感薄膜的厚度处于微米级，尺寸小，具有灵敏度高、热惯性小等优点，且可以直接沉积在待测温工件上，易于制备一体化器件。

薄膜压阻传感器在进行接触压力测量时，测量的是金属导体在机械应力作用下的电阻变化。其中包括金属导线伸长导致的横截面积变化，从而电阻升高。另一方面，由于发生应力，导体材料的电阻率因体积结构变化而变化，也被称为压阻效应。金属热阻薄膜的测温机理是随着温度的上升金属原子的振动增加，晶格对电子的散射增加，导致金属电阻增加，所以可以根据电阻的变化反应温度的变化。

磁控溅射具有使用灵活、膜层纯度高、沉积速率快、基体涂覆性好以及膜层致密度高、均匀性好、膜基结合力强、膜层平整性高等特点，广泛应用于工业生产中。基于 PVD 的方法，可通过改变基体偏压、工作气压、沉积温度、薄膜膜厚等参数制得具有不同成分结构的传感薄膜，优化沉积薄膜传感器的最佳工艺方案。

制得样品后通过 AFM、SEM、XRD 等手段对样品进行材料物相表征，经真空加热炉与压力机施加温度和力，通过电阻测试仪进行实际应用测试表征，观察记录电阻随温度与力的变化，记录数值，找寻规律，得出结论。

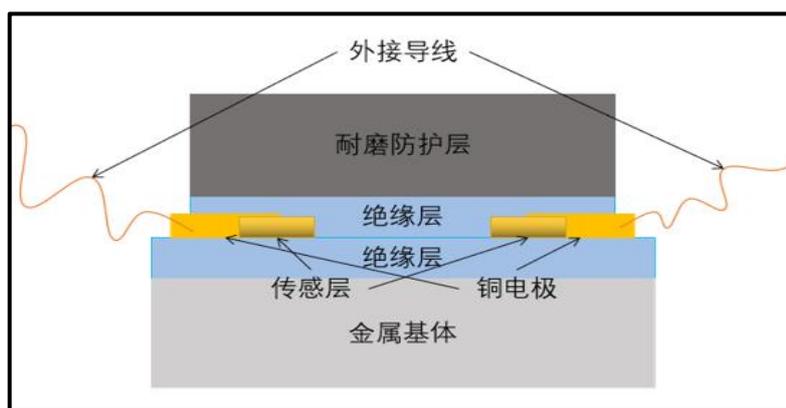


图1 硬件架构示意图

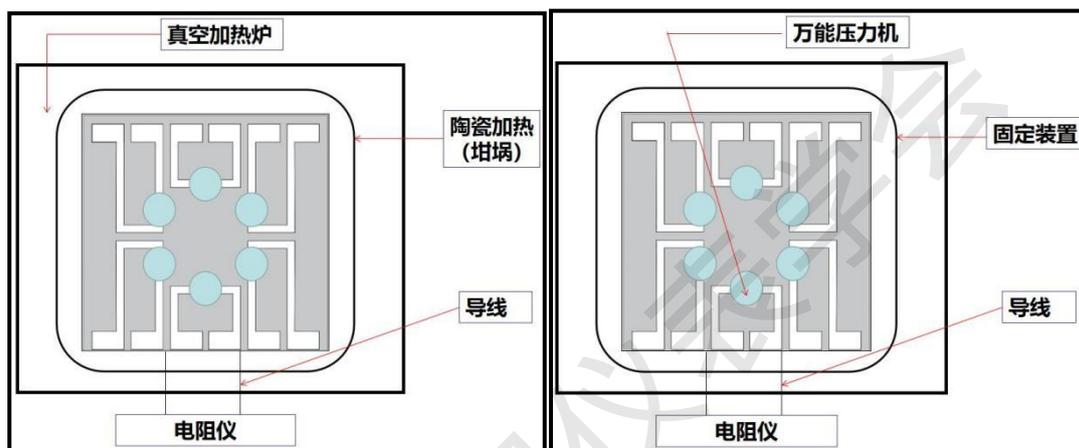


图2 热阻传感器测试示意图

图3 压阻传感器测试示意图

3.2 设计方法

(1) 电阻测试仪

本项目采用美瑞克公司生产的 RK2514A 型号直流低电阻测试仪测量电阻，其测量电阻范围 0.1 至 110 $\mu\Omega$ ，测试准确度为 0.1%。

(2) 参照用热电偶

本项目采用开普森高精度便携式热电偶测温仪，分辨率为 0.01 $^{\circ}\text{C}$ ，测试量程为-200 至 1370 $^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 真空加热系统

高温下测量薄膜电阻时，为了防止薄膜在空气中氧化，特将薄膜及加热系统放在真空镀膜腔室内，真空镀膜腔室可以提供真空度大于 10 $^{-4}$ Pa 的真空环境以及 0 至 500 $^{\circ}\text{C}$ 的高温环境。通过外接热电偶实时检测真空室内温度，热电偶的电源线和测量薄膜电阻的导线通过密封陶瓷法兰与外部相连。

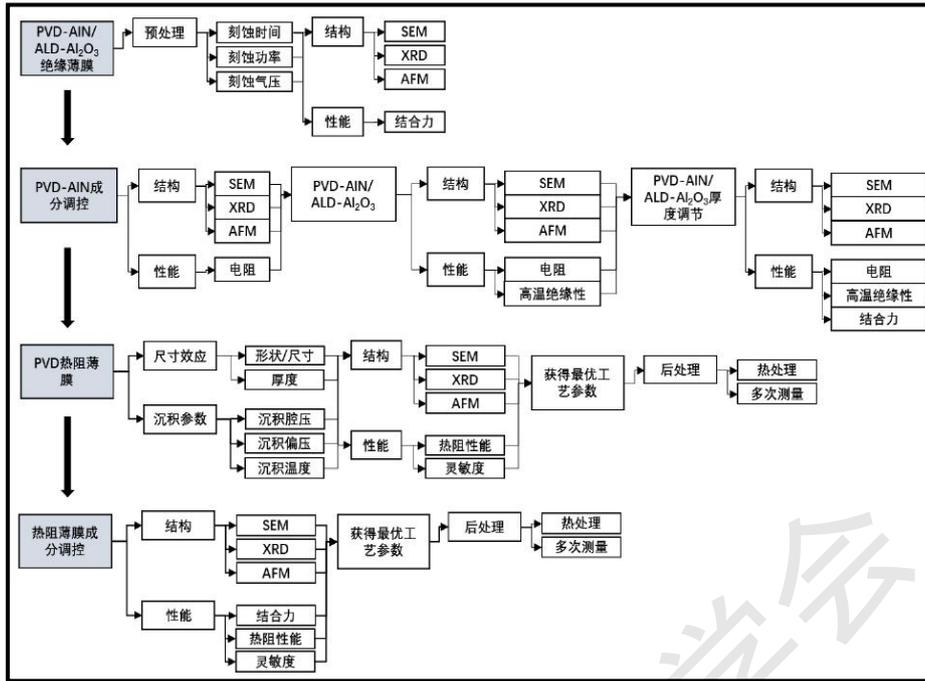


图 4 温度传感器（热阻）研究&测试流程图

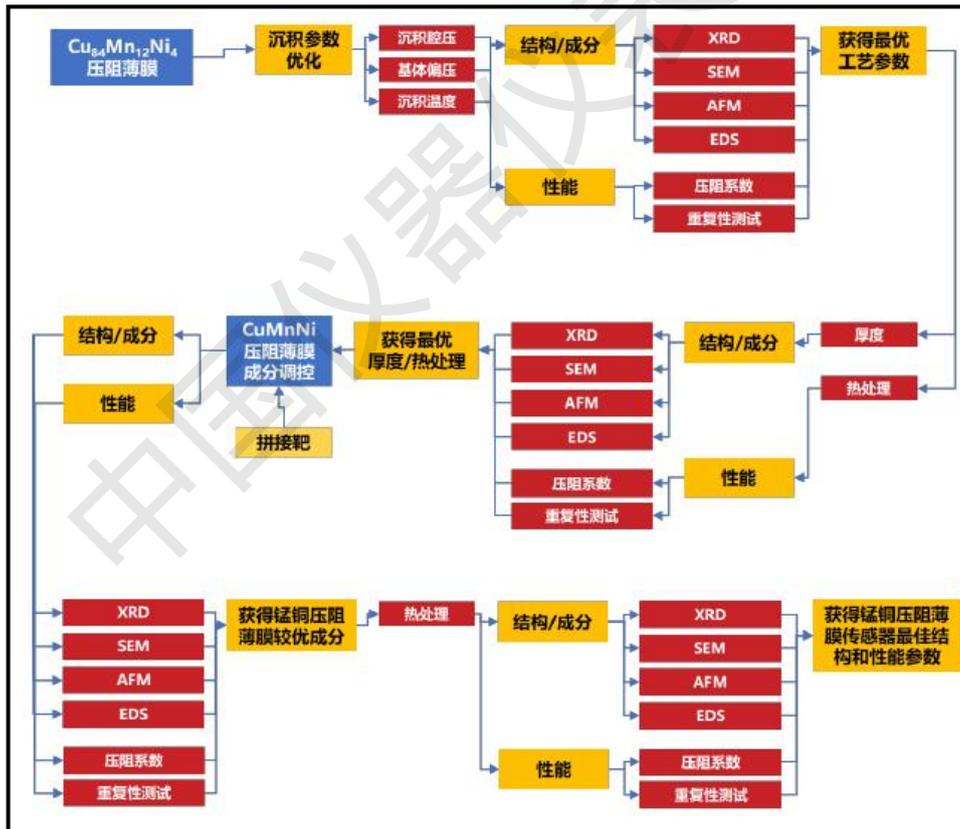


图 5 压力传感器（压阻）研究&测试流程图

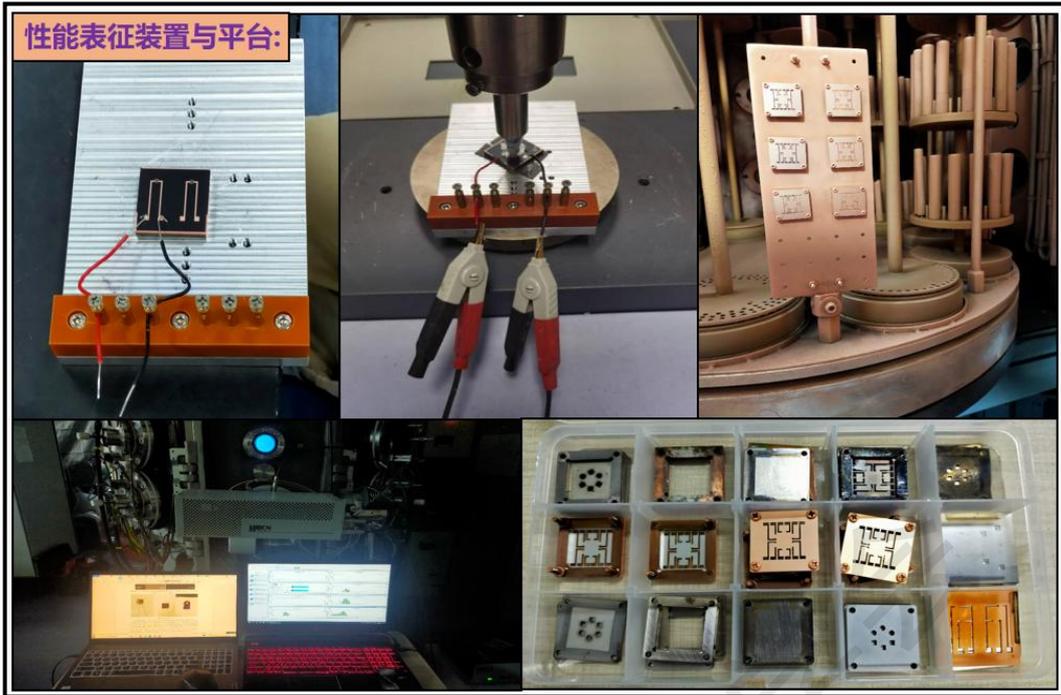


图 6 性能表征装置与平台

3.4 实验验证过程

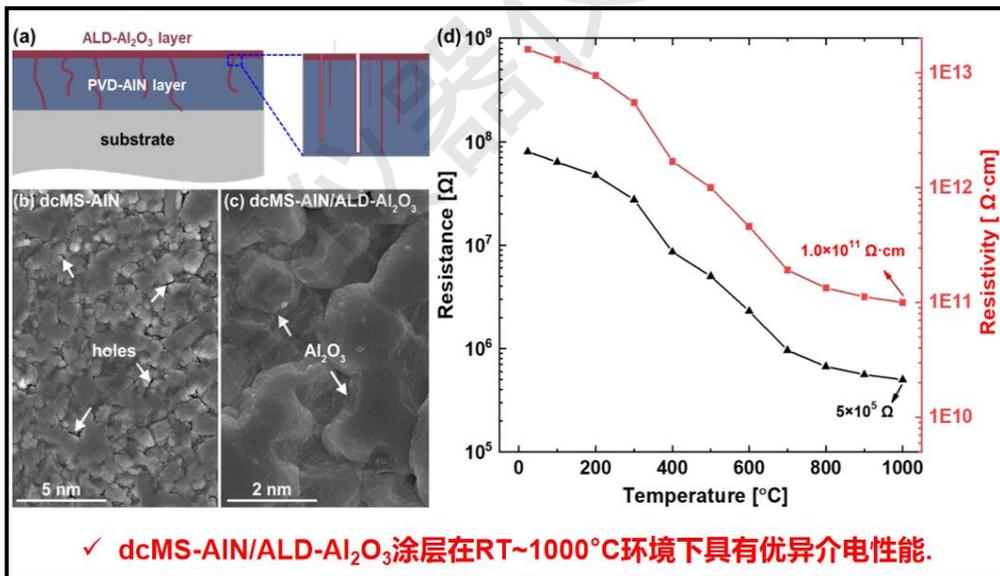


图 7 绝缘性能测试表征

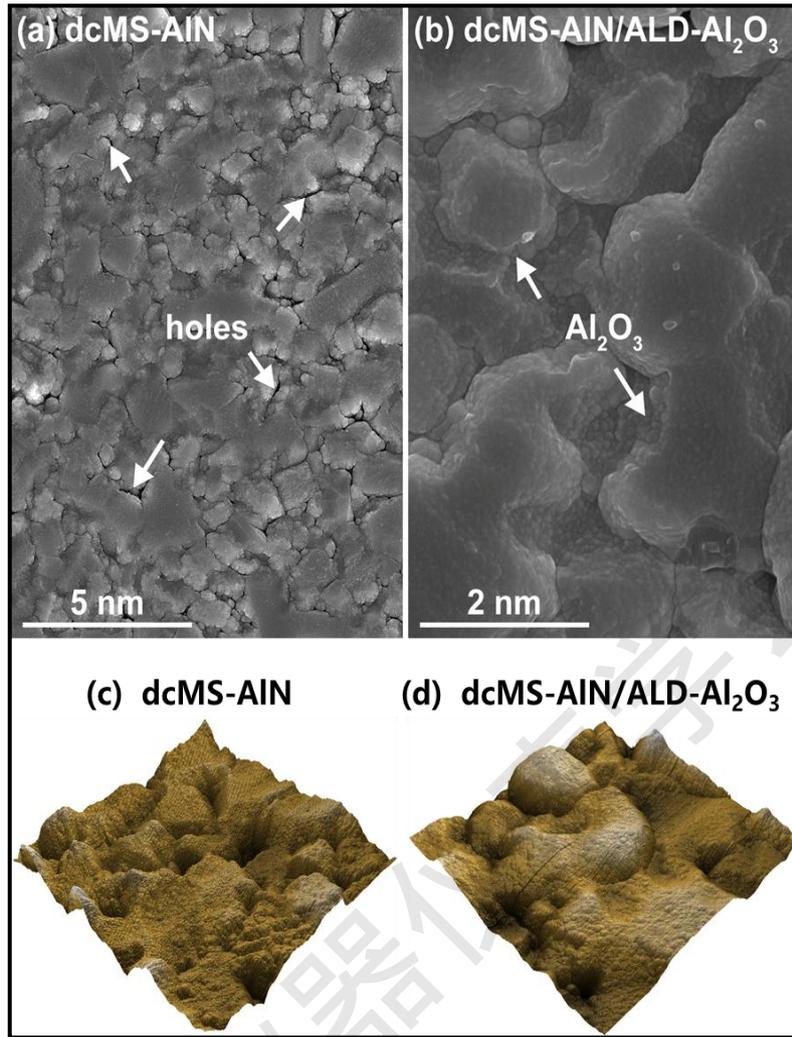


图8 (a,b) : Al₂O₃ 封孔前后绝缘层的表面 SEM 形貌和 (c,d) :AFM 形貌图

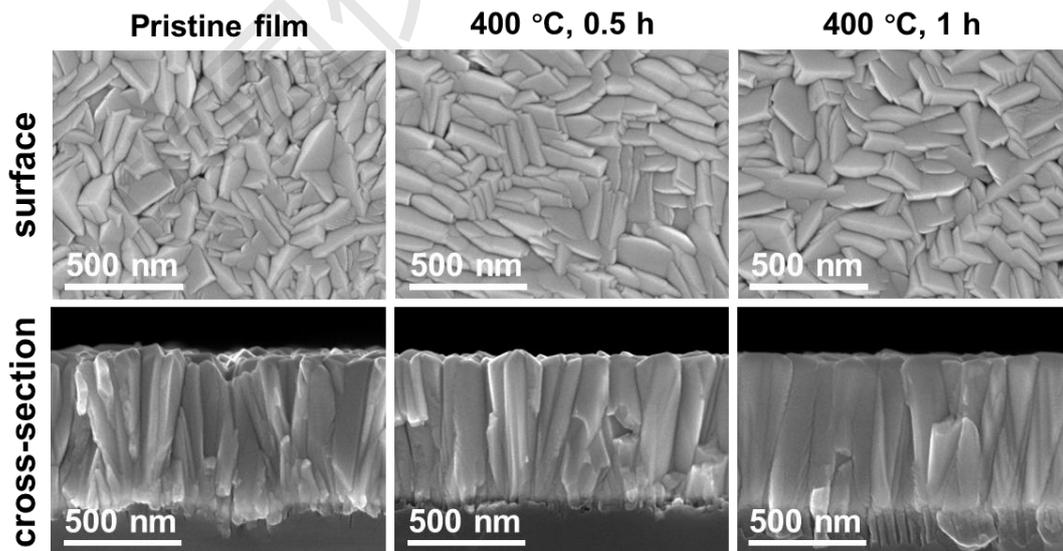


图9 不同退火时间 W 薄膜的表截面 SEM 形貌图

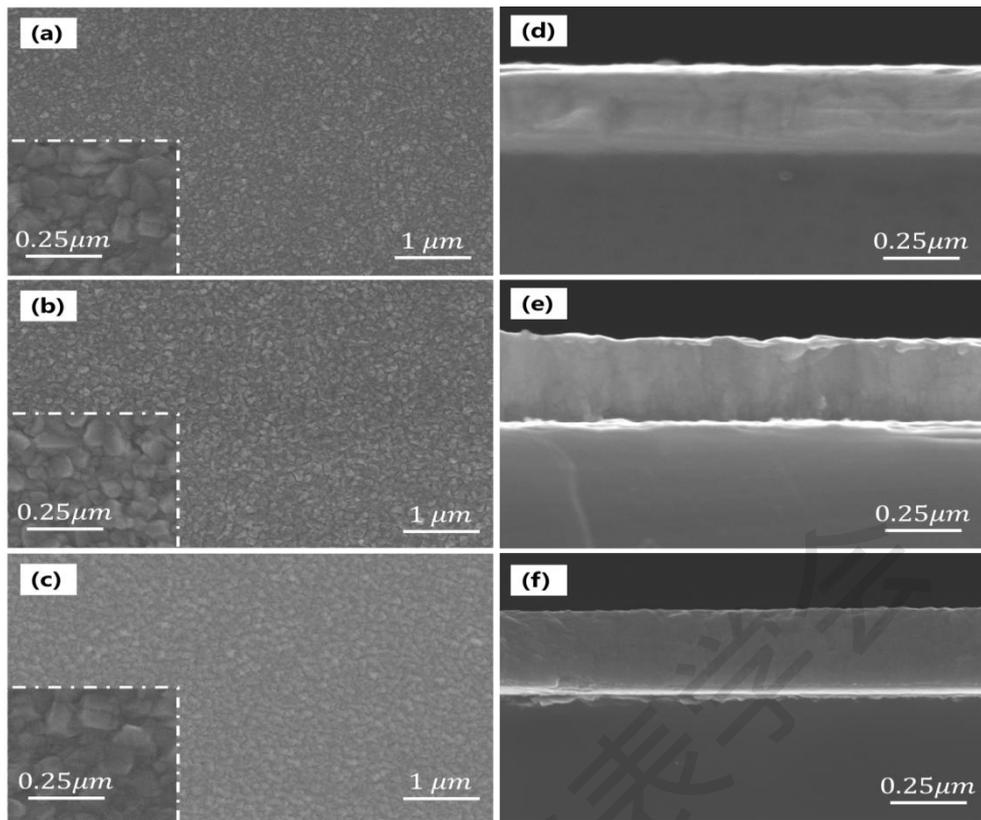


图 10 400 °C退火处理后 Cu₈₄Mn₁₂Ni₄ 薄膜的表面和截面 SEM 形貌图

(a, d) : 无热处理, (b, e) : 400 °C、1 h, (c, f) : 400 °C、2 h

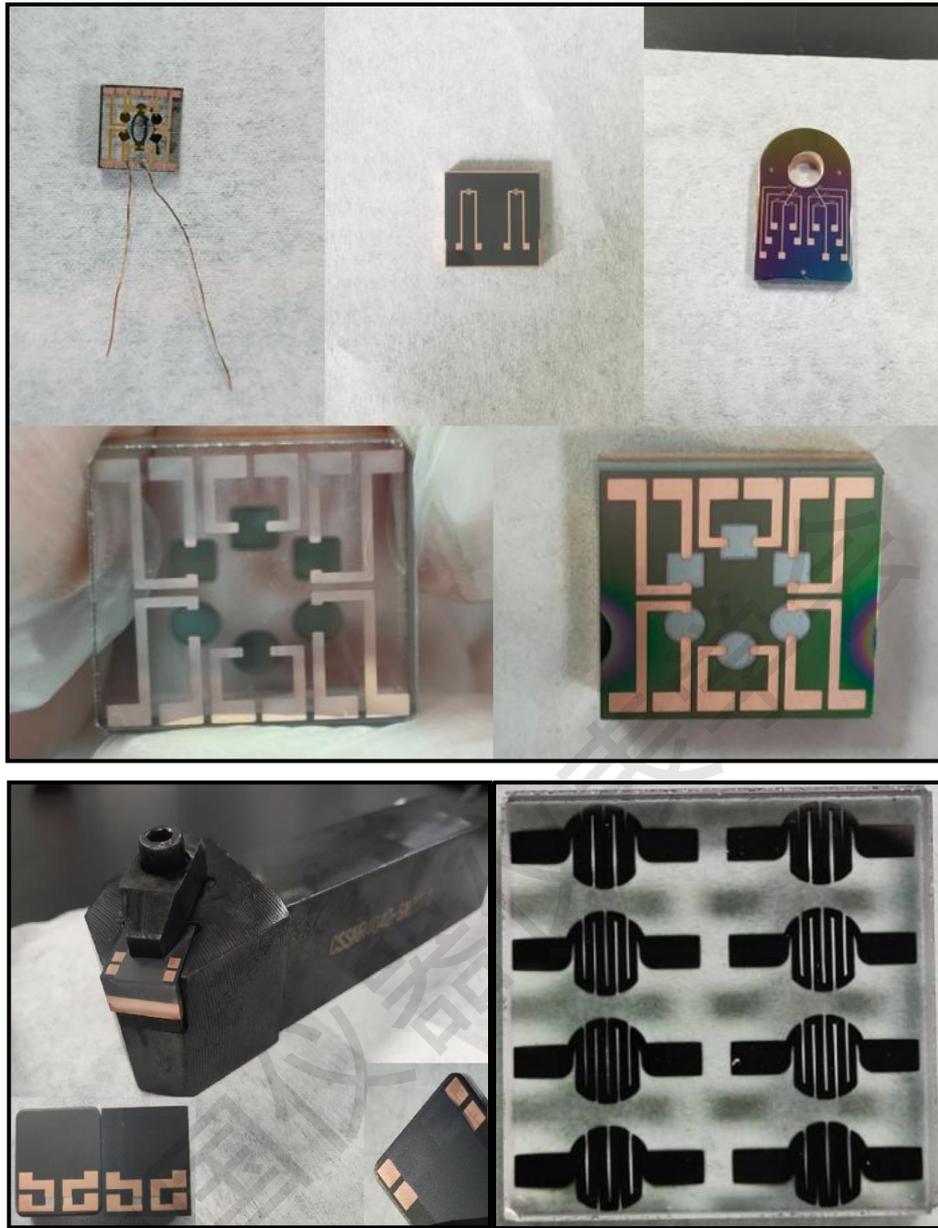


图 11 实物