

大面积自支撑单晶金刚石片的制备方法研究 成果登记公示信息

成果名称:	大面积自支撑单晶金刚石片的制备方法研究
完成单位:	北京大学东莞光电研究院
完成人员:	王忠强,王琦,张国义,丁晓民
研究起止日期:	2022-09-20 至 2025-09-19
成果应用行业:	制造业
高新技术领域:	新材料
评价单位:	东莞市科学技术局
评价日期:	2026-03-26
成果简介:	1、课题来源与背景 随着电子制造业朝着小型化、高密度和大功率的方向发展，传统的 Si、Ge、GaAs 等半导体材料已不能满足器件散热的要求，导致元器件的温度升高，性能变坏，甚至失效。目前电子制造领域芯片封装散热及稳定性问题，成为制约器件进一步微型化、高度集成化和性能提升的瓶颈。 随着科技的发展，为满足业界对更大功率、更小体积、更快速度的追求，人们逐渐将目光聚焦到具有更大禁带宽度的氧化镓、氮化铝、金刚石等超宽禁带半导体材料上，金刚石半导体在器件领域开始绽放光芒。 金刚石是一种超宽禁带半导体材料(禁带宽度 5.47eV)，禁带宽度是 Si 的 5 倍;载流子迁移率是 Si 材料的 3 倍，比现有的宽禁带半导体材料 (GaN、SiC)也要高 2 倍以上，同时，金刚石在室温下有极低的本征载流子浓度。并且，除了最高硬度以外，金刚石还具有半导体材料中最高的击穿场强和热导率、低介电常数(5.7)。因此金刚石也被业界称为“终极半导体”材料。在高频、高功率、高温电子器件，核辐射探测器、光电器件、微机电系统(MEMS)等领域表现出巨大的应用潜力，目前正成为国际竞争的新热点。 如果能开发出低成本的大面积自支撑单晶金刚石片的制备方法，必将迅速推动金刚石在半导体领域的应用，为我市的绿色低碳产业发展做出贡献。 2、技术原理及性能指标 (1) 低位错 1 英寸及以上单晶金刚石自支撑片可控径向外延生长 采用微波增强等离子体化学沉积方法，将单晶金刚石晶圆种晶竖立放在微波等离子体腔内，通过样品旋转支架带动金刚石圆片转动及升降，将多片金刚石圆片同轴夹持成圆柱状，只让其侧面暴露在微波等离子体下面，使得金刚石圆片只沿着径向旋转生长，随着金刚石圆片直径生长变大，逐步降低样品旋转支架，以便在微波等离子体下形成稳定的生长

环境，从而生长出大直径金刚石圆片。此法可避免现有马赛克拼接技术遇到的裂缝高缺陷密度问题。通过研究沉积腔压、工艺气体配方以及籽晶温度与转速的相互关系，优化生长速率。

(2) 大直径单晶金刚石自支撑片的去应力技术

生长过程的温差、杂质与缺陷的并入、外延边缘多晶化过程均会造成大尺寸金刚石内应力的积累。

我们在生长过程中采用部分镂空的钼垫来调节样品向基片台的散热速率，让样品边缘与中心的温差低于 20 度。工艺气体配方中添加适量的氩气与氧气，减少非晶碳在样品边缘的沉积和氮杂质在样品中的残留。通过对单晶金刚石进行原位氢等离子体高温低压退火处理，考察退火工艺如时间、温度等对应力削弱的影响规律，最终获得了低本征应力的单晶金刚石。

对金刚石晶体内残余应力的检测，目前还没有推出国家标准推荐方法，我们依据团体标准《金刚石单晶表面应力分布测定 拉曼光谱法》T/IAWBS 023-2025,采用金刚石一阶拉曼峰频移量的计算方法，用样品实测的金刚石拉曼峰频移与标准无应力的金刚石单晶拉曼频移

(1332.5cm⁻¹)之差，算出样品的表面应力。对选取的 1 个样品的(100)晶面进行了测试，实验采用松山湖材料实验室的快速显微共聚集拉曼成像系统（型号: Horiba/LabRam HR Evolution），测得实验样品（100）生长面一阶拉曼峰平均值位于 1332.41 cm⁻¹，（详见附件松山湖材料实验室测试报告 SLAB-2025110501），计算得测量点中最大残余应力为 138.24MPa，平均残余应力为 71.68MPa. 优于约定目标。

3、技术的创造性与先进性

本项目采用单晶金刚石种晶晶圆的径向方向生长的方法来实现大面积单晶金刚石片，具体实现方案是:采用微波增强等离子体化学沉积方法，将单晶金刚石晶圆种晶竖立放在微波等离子体腔内，使用电机驱动晶圆种晶旋转，通过受控的径向生长，使小的种晶沿着径向逐步长大，厚度维持不变直到长成设定直径的晶圆，避免现有马赛克拼接法的接缝错位缺陷问题。

4、技术的成熟程度，适用范围和安全性

研究出了一种直径 2 英寸及以上规格的同质外延单晶金刚石生长制备方法，实现了高质量单晶金刚石自支撑片的制备。

5、应用情况及存在的问题

(1) 项目实施过程中最初遇到的主要问题是需要对现有 MPCVD 设备进行改造，我们通过选取微型真空减速马达，将马达放置在样品窗的位置，然后将马达与沉积腔之间用铝膜加不锈钢板屏蔽，通过弹簧连接氮化铝棒驱动金刚石样品旋转，在不影响沉积腔室结构的前提下完成了设备改造。在样品生长初期，由于样品的不同区域温差太大，往往造成样品在应力下崩裂，通过在支撑样品旋转的钼垫下面再垫石英垫片，降低散热速率，提高钼垫、氮化铝陶瓷棒的温度，降低样品面内温差，并结合在工艺气体配方中引入氩气，降低样品沉积温度，实现了预期生长目标。但是，实验过程中，我们最终能达到的生长出高质量的单晶金刚石圆片的径向生长速率只有 7um/小时，依然难以满足商业需求。

(2) 还有一个问题是需要定向研磨设备，在实验初期，我们采用 5 到 10mm 尺寸的小样品，粘在磨厅上，固定方向在旋转磨盘上磨抛，以近

	似单向的方式研磨，不需要大的设备投入，就能完成实验验证。缺点是样品尺寸增加就不能采用这种近似方法了，因为样品尺寸增加后磨盘直径不变的情况下，在样品上的磨抛痕迹明显弯曲，不利于多晶之间的面内一致取向。
--	---