

松山湖材料实验室（公共技术平台）关于采购 MPCVD 微波等 离子体化学气相沉积设备的需求论证和市场调研报告

1. 需求论证

1.1 购买该仪器或服务的原因

金刚石是集化学、物理和机械等优良性质于一身的特性出色的新材料，有着广泛的运用。除力学、光学、热学方面应用外，金刚石还是一种极具潜力的半导体材料，被认为是制备下一代高功率、高频、高温及低功率损耗电子器件最有希望的材料，被业界誉为“终极半导体”。目前对于金刚石沉积反应过程、半导体掺杂等还有难度，相关研究需要展开。

松山湖材料实验室-公共技术平台-材料制备子平台正使用微波等离子体化学气相沉积法（即 MPCVD，是一种无极放电、无污染、外延可控性强的高质量金刚石生长方法）进行高质量大尺寸单晶金刚石薄膜制备研究，并且已取得一定进展，可制备出高质量单晶金刚石，下一步将致力于研究如何将其高效地侧向外延生长。

由于金刚石样品的制备周期较长，每次实验周期为七天以上，而本平台目前仅有一台 MPCVD 设备，样品产能受到较大限制，不利于研究的高效开展；另一方面，周边高校、研究所和其它企事业单位并没有找到提供满足精度和质量要求的相关科研服务；因此，考虑到上述需求和实际情况，需要购买一台 MPCVD 设备，以便加快金刚石侧向外延生长的研究进度。

1.2 主要技术指标和质量要求

对 MPCVD 设备的关键技术指标和质量要求有：

- 1) 腔室本底极限真空：优于 2Pa；
- 2) 系统漏率： $<1.0 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ (通过氦质谱检漏仪检测)；
- 3) 腔体保压能力：压升速率小于 2pa/h，
- 4) 温度控制范围：300°C —— 1300°C；
- 5) 微波输出功率 1~6kW 可调；

- 6) 微波泄露 $\leq 5 \text{ mw/cm}^2$; (国家标准)
- 7) 生长能力: 优于 $10\mu\text{m/h}$;
- 8) 配备缺水、气、电、等离子火球跳变、过温过载等自动保护。

2. 市场调研

2.1 相关行业分析

随着科技的快速发展, 新型材料的研发与应用成为当今的热门话题。CVD 金刚石是一种通过化学气相沉积技术在基材上形成的高质量金刚石材料。近年来, CVD 金刚石因其独特的性能在多个领域展现出广阔的应用前景, 引起了广大科研工作者和工程师的广泛关注并被不断拓展。

金刚石虽然是硬度最高的固体物质, 性质稳定, 但却难加工成各种所需的零件和制品。因此后来出现了 CVD 金刚石制备技术, 是通过化学气相沉积 (CVD) 技术在基材上形成的一种超硬材料。金刚石薄膜, 其性能接近天然金刚石, 因而金刚石一经问世就迅速达到商业化应用的水平, 从而在世界范围内掀起了研究金刚石的热潮。与其他金刚石材料相比, CVD 金刚石具有更加出色的光学、电学和机械性能。这使得它在众多领域中具有广泛的应用潜力。

1、高温稳定性: CVD 金刚石具有优秀的耐高温性能, 可以在高温环境下保持稳定的物理和化学性质。

2、机械稳定性: CVD 金刚石具有高硬度、低摩擦系数和良好的耐磨性。

3、光学透明性: CVD 金刚石在可见光范围内具有高透光性, 对于可见光波段的电磁波几乎完全透明。同时具有低热膨胀系数和高热导率。

4、CVD 金刚石具有优异的电学性能, 其高击穿场强和高热导性使其在高温、高电压和高频率的应用场景中具有显著优势。

5、耐腐蚀性更好, 金刚石具有化学惰性, 例如, 覆有 100 纳米金刚石涂层的电镀件, 可经受 300 小时的盐雾试验, 不出现腐蚀变异。

CVD 金刚石因其出色的性能而在多个领域拥有广泛的应用。

1、在光学领域：具有 CVD 金刚石涂层的材料具有极好的耐腐蚀性、耐磨损性、较强的抗辐照损伤性以及较好的光透性，并且能在高温环境下保持良好的光学性能，使其被应用在高速拦截导弹头罩、战斗机机头探测窗口材料、航空飞机窗口材料和红外陈列成像引导窗口等高效能光学器件。

2、电子学：CVD 金刚石可以应用于制造高温电子器件，如大功率晶体管、整流器等。此外，其出色的热导性可以有效地解决电子设备散热问题，提高设备的可靠性和稳定性。

3、机械领域：CVD 金刚石在机械领域也有着广泛的应用，如制造高精度轴承、刀具和密封件等高性能零部件。

4、材料科学：CVD 金刚石的高温稳定性和机械稳定性使其在材料科学领域具有广泛的应用前景，如高温涂层、耐磨涂层等。

5、生物医学：CVD 金刚石的生物相容性和血液相容性良好，可以应用于制造生物传感器、药物载体等。

目前，高品质 CVD 金刚石的制备方法主要是微波等离子体化学气相沉积（MPCVD），随着制备技术的不断改进，CVD 金刚石的生长速度和质量的提升取得了显著的进展。此外，科研工作者们还在探究 CVD 金刚石薄膜的生长机理和物理性能方面进行了深入研究，为其应用提供了更加科学的理论基础。

随着科技的不断发展，CVD 金刚石薄研究和应用前景日益广阔。未来，CVD 金刚石有望在以下几个方面取得重要突破：首先，通过优化制备工艺和降低成本，实现 CVD 金刚石的大规模生产和应用；其次，研究新型高性能 CVD 金刚石材料，拓展其应用领域；最后，结合纳米技术、生物技术等新兴科技，探索 CVD 金刚石薄膜在复合材料、生物医学等领域的新应用。

CVD 金刚石作为一种新型的高质量材料，具有出色的性能特点和应用前景。在电子学、光学、材料科学、生物医学等领域中，CVD 金刚石展现出巨大的应用潜力。随着制备技术的不断改进和科研工作者们的不懈努力，相信 CVD 金刚石薄膜在未来将会得到更加广泛的应用和推广，为人类的生产和生活带来更多可能性。

2.2 产业发展状况

在半导体领域，单晶金刚石具有超宽的禁带宽度、低的介电常数、高的击穿电压、高的热导率、高的本征电子和空穴迁移率，以及优越的抗辐射性能，使其成为目前已知的最有前景的宽禁带高温半导体材料，号称“终极半导体”材料。但单晶金刚石在半导体上的大规模应用还有很多技术难题急需解决。

应用于半导体领域或是集成电路的金刚石需要具备一定的形状和面型精度，晶体的制备、晶圆切割和研磨抛光是单晶金刚石衬底制备过程的关键工序。实现这些工序，获得高质量的单晶金刚石衬底正面临诸多技术难题，例如：1) CVD 金刚石材料需达到英寸级大晶圆面积。大尺寸的天然金刚石材料储备有限、价格昂贵且质量参差不齐，难以满足工业化应用的需求，而 MPCVD 法沉积英寸级单晶金刚石的制备技术是目前需要突破的首要难题。2) 单晶金刚石在籽晶上生长后要能自由切割并剥离成片。目前 CVD 单晶金刚石的剥离主要使用激光切割的方法，该方法易破碎，效率低。3) 单晶金刚石研磨抛光后的表面粗糙度和面型精度要能满足半导体衬底的要求。半导体衬底对表面粗糙度和面型精度的要求很高，英寸级单晶金刚石的研磨抛光是一大挑战。因此，如何制备出英寸级的大尺寸单晶金刚石，并高效地剥离切片和研磨抛光，是单晶金刚石作为“终极半导体”能够获得广泛应用的关键。

理论上讲，只要能够获得足够尺寸的衬底，就可以制备出相应尺寸的单晶金刚石。根据衬底种类不同，CVD 法沉积金刚石可分为异质外延和同质外延。由于高质量的单晶金刚石衬底很难获得，因此，选择一种合适的异质衬底进行外延生长单晶金刚石，无疑是制备英寸级单晶金刚石的最优选择。异质外延沉积大尺寸单晶金刚石沉积过程可分为形核和长大，初级核通过重整周围碳原子排列结构，不断扩大形核区，使之形成规则的金刚石晶体。提高形核密度、选择合适的异质衬底是成功实现金刚石异质外延生长的关键因素，提高形核密度的主流工艺主要有以下两种：1) 偏压增强形核技术 2) 离子辐照技术。

在衬底选择方面，经过研究人员长期的探索，Ir 被认为是一种最优的选择，是目前唯一可实现高质量、大尺寸异质外延制备金刚石的衬底材料。通过第一性原理计算发现，C 原子在 Ir 中的溶出能对其浓度变化十分敏感，有利于金刚

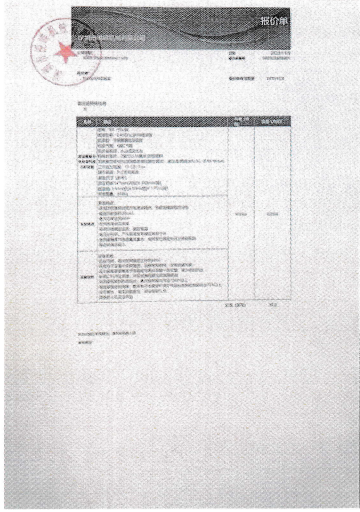

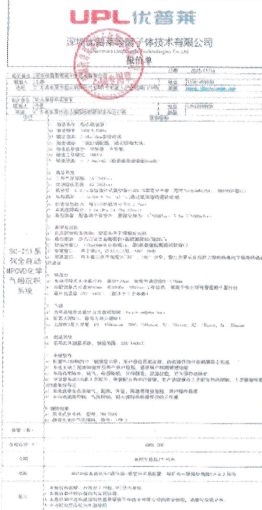
石颗粒的平移和旋转，从而快速达到取向一致。研究表明，原子级光滑的 Ir 衬底表面的金刚石经过偏压增强形核技术形成了几十纳米高的脊状形状，经过偏压增强形核技术处理时含碳基团溶解于 Ir 气氛，作为催化剂的 Ir 促进金刚石的形核与生长，以 Ir 为衬底可以获得高质量、大尺寸的异质外延金刚石。

通过研磨去除生长过程中的单晶金刚石边缘产生的多晶金刚石后再重复生长，是目前市面上获取大尺寸单晶金刚石的主流方法。但是随着生长的进行，籽晶的尺寸会有一定程度的改变，影响了金刚石表面等离子体的状态，同时由于生长界面不断变化，内部的缺陷和位错逐渐增加，即使对表面打磨后再生长，最终切割后仍有很大概率出现破损的情况，受制于各种加工因素，三维生长法并不是一个最优选择。而采用结晶特征基本完全相同的籽晶进行马赛克拼接生长可以获得单晶金刚石外延层，利用马赛克拼接法制备大尺寸单晶金刚石成为学界热潮。我国在 MPCVD 法制备单晶金刚石领域取得了一定的成就，但是，国内高校及科研院所对马赛克拼接法制备大尺寸单晶金刚石的研究起步较晚，与国外还存在较大技术差距。

目前异质外延沉积大尺寸单晶金刚石最重要的问题需要有适宜的外延基片及对基片进行偏压形核处理，目前的研究表明 Ir (100) 衬底是唯一可行的最终沉积高质量、大尺寸的异质衬底。在不影响沉积的金刚石质量的前提下，三维生长法沉积单晶金刚石将传统的二维沉积速率提高了两倍，但每轮沉积之后，金刚石在垂直和水平方向的尺寸均会改变，往往会产生晶界不匹配等一系列问题。优选厚度、晶体结构一致的籽晶利用马赛克拼接法制备高品质大尺寸单晶金刚石生长工艺研究，是目前合成英寸级单晶金刚石的最优选择。

虽然我国有一些高校和实验室已经开展了一些关于大尺寸单晶金刚石生长、切割及研磨抛光的工艺研究，但工艺和装备研发上还与国外存在较大差距，制备的大尺寸晶圆虽然可应用于热沉和光学领域，但是仍然无法满足电子级半导体领域的商业化应用需求。因此，在后续的研究中，应当进一步完善大尺寸单晶金刚石衬底制备及加工工艺，在保证速率的同时，提高晶体质量。

2.3 主要供应商

供应商名称	技术水平	产品主要性能参数	价格（附报价单）
深圳锐嵘机械有限公司	MPCVD 设备生产商	1)腔室本底极限真空：优于 5Pa； 2)系统漏率： $\leq 1.0 \times 10^{-10} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ (通过氦质谱检漏仪检测)； 3)腔体保压能力：24 小时平均压升速率小于 5pa/h； 4)温度控制范围：250°C —— 1300°C； 5)微波泄露率 $\leq 2 \text{ mw}/\text{cm}^2$ ； 6)生长能力：5um/h； 7)输出功率：6kW	 <p>902000</p>
深圳飞赛精密钣金技术有限公司	MPCVD 设备生产商	1)腔室本底极限真空：优于 10Pa； 2)系统漏率： $\leq 1.0 \times 10^{-9} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ (通过氦质谱检漏仪检测)； 3)腔体保压能力：24 小时平均压升速率小于 5pa/h； 4)温度控制范围：250°C —— 1400°C； 5)微波泄露率 $\leq 2 \text{ mw}/\text{cm}^2$ ； 6)生长能力：8um/h； 7)输出功率：6kW	 <p>956000</p>
深圳优普莱等离子体技术有限公司	专业生产 MPCVD 设备的国家级高新技术企业，处于国内领先水平。	1)腔室本底极限真空：优于 1Pa； 2)系统漏率： $\leq 1.0 \times 10^{-10} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ (通过氦质谱检漏仪检测)； 3)腔体保压能力：24 小时平均压升速率小于 2pa/h； 4)温度控制范围：250°C —— 1400°C； 5)微波泄露率 $\leq 2 \text{ mw}/\text{cm}^2$ ； 6)生长能力：10um/h； 7)输出功率：0.6-6kW 连续可调	 <p>885000</p>

2.4 满足需求的供应商及其设备/服务

拟选择供应商：深圳优普莱等离子技术有限公司

拟选择设备型号：SC-251

关键指标要求	拟选择设备的技术指标	是否满足要求
<p>1)腔室本底极限真空：优于 2Pa；</p> <p>2)系统漏率：$<1.0 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$(通过氦质谱检漏仪检测)；</p> <p>3)腔体保压能力：压升速率小于 2pa/h，</p> <p>4)温度控制范围：300°C —— 1300°C；</p> <p>5)微波输出功率 1~6kW 可调；</p> <p>6)微波泄露$\leq 5 \text{ mw/cm}^2$；（国家标准）</p> <p>7)生长能力：优于 10um/h；</p> <p>8)配备缺水、气、电、等离子火球跳变、过温过载等自动保护。</p>	<p>1)腔室本底极限真空：优于 1Pa；</p> <p>2)系统漏率：$\leq 1.0 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$(通过氦质谱检漏仪检测)；</p> <p>3)腔体保压能力：24 小时平均压升速率小于 2pa/h；</p> <p>4)温度控制范围：250°C —— 1400°C；</p> <p>5)输出功率：0.6-6kW 连续可调；</p> <p>6)微波泄露率$\leq 2 \text{ mw/cm}^2$</p> <p>7)生长能力：10um/h；</p> <p>8)具有缺水、缺电、缺气、过温过载等自动保护。</p>	<p>各项关键技术指标均满足要求</p>

3. 微波等离子体化学气相沉积 MPCVD 设备采购方案

3.1 拟选购的设备信息

制造/生产/品牌商：深圳优普莱等离子技术有限公司

地址：深圳市光明区光明街道东周社区双明大道 315 号易方大厦 1308(总部)

东莞市松山湖兴达路生态园机器人产业园 10 栋 6 楼 602 优普莱

产品型号：SC-251

价格：88.5 万元

技术指标：

- 1) 腔室本底极限真空：优于 1Pa；
- 2) 系统漏率： $\leq 1.0 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ (通过氦质谱检漏仪检测)；
- 3) 腔体保压能力：24 小时平均压升速率小于 2pa/h；
- 4) 温度控制范围：250℃—1400℃；
- 5) 微波泄露率 $\leq 2 \text{ mw/cm}^2$ ；
- 6) 生长能力：10um/h；
- 7) 输出功率：0.6-6kW 连续可调
- 8) 具有缺水、缺电、缺气、过温过载等自动保护。

3.2 拟采用的供货方案

代理商：深圳优普莱等离子技术有限公司

地址：东莞市松山湖兴达路生态园机器人产业园 10 栋 6 楼 602 优普莱

价格：88.5 万元

特定的采购要求（比如供货时间，预付款等）：

供货时间 —— 合同签订后，45 日内

预付款 —— 设备总价的 30%

4. 结语

经广泛调研，满足实验所需技术指标要求的 MPCVD 微波等离子体化学气相沉积设备，目前有深圳优普莱等离子技术有限公司提供的 SC-251 型号设备能满足我方要求，且优势明显。特此，拟申请采购深圳优普莱等离子技术有限公司 SC-251 型 MPCVD 设备，预算为 88.5 万元。

采购需求部门论证签字（3 人以上，含部门负责人）：

张东峰 许星 陈恩敏

附件：调研供应商产品报价单

2023 年 11 月 16 日