

瑞而美公司自主研发的纳米级图形化（nano-PSS）衬底

在 LED 外延工艺中，由于蓝宝石衬底材料与外延材料从晶格常数、热胀系数到折射率都相差都很大。这些物理性质差异直接导致衬底上生长的外延材料质量不高，致使 LED 内量子效率（IQE）受到限制，从而影响外量子效率（EQE）以及光效的提高。

为了提高 LED 的光效，图形化蓝宝石衬底（Patterned Sapphire Substrate, PSS）技术被引入，图形化蓝宝石衬底能提高 LED 效率的原因在于能够有效的减少缺陷密度，减少外延生长缺陷，提升外延片品质，减少非辐射复合中心，提高了内量子效应；另外，图形化衬底结构增加了光子在蓝宝石界面处的反射次数，使光子逸出 LED 有源区的几率增加，从而使出光效率得以提高。

目前主要的图形化衬底制作技术主要包括：掩膜层制作、掩膜层图形化、掩膜图形向衬底的转移和掩膜层去除四个步骤。在微米级以上的图形化衬底，常规的光刻技术就能满足掩膜层图形化工艺需求，但是，随着 LED 产业的发展，特别是紫外 LED 外延技术的发展，技术的图案由微米级向着纳米级进发，常规的图形化衬底的工艺方法的成本和难度已无法适用于大规模生产。

目前纳米级 PSS(NPSS:nano-PSS)技术掩膜层图形化的方法主要为纳米压印。纳米压印的基本思想是通过在模具上形成纳米级的图案，将模具压印在形成于衬底上的媒介上，媒介通常是一层很薄的聚合物膜，通过模具对媒介的热压或者透过模具的辐照等方法使媒介结构硬化，从而保留下图形。纳米压印对模具的分辨率、平坦化、均匀性、表面等有很高的要求，并且，压印过程中，模具与压印材料之间的对准、平行度、压力均匀性、温度均匀性、脱模技术等都有着较多的问题。

针对上述现有技术存在的技术问题，本公司通过自主研发：提供了一种纳米级图形化蓝宝石衬底的制备方法，无需用掩膜的复杂工艺方法或制作纳米压印模具的复杂工艺方法制作，工序简单，生产效率高，工艺成本低。

附图说明：下面结合附图作进一步描述：

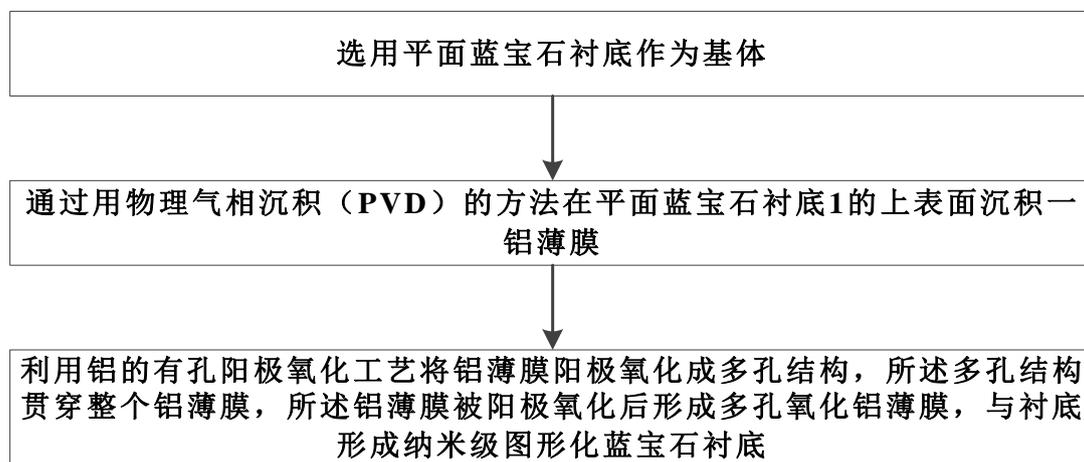


图 1 是本发明纳米级图形化蓝宝石衬底的制备方法的流程图

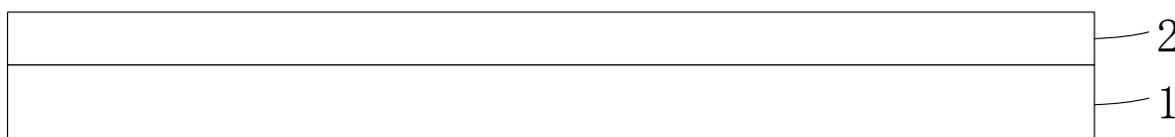


图 2 是本发明中平面蓝宝石衬底上层沉积金属铝薄膜的结构示意图

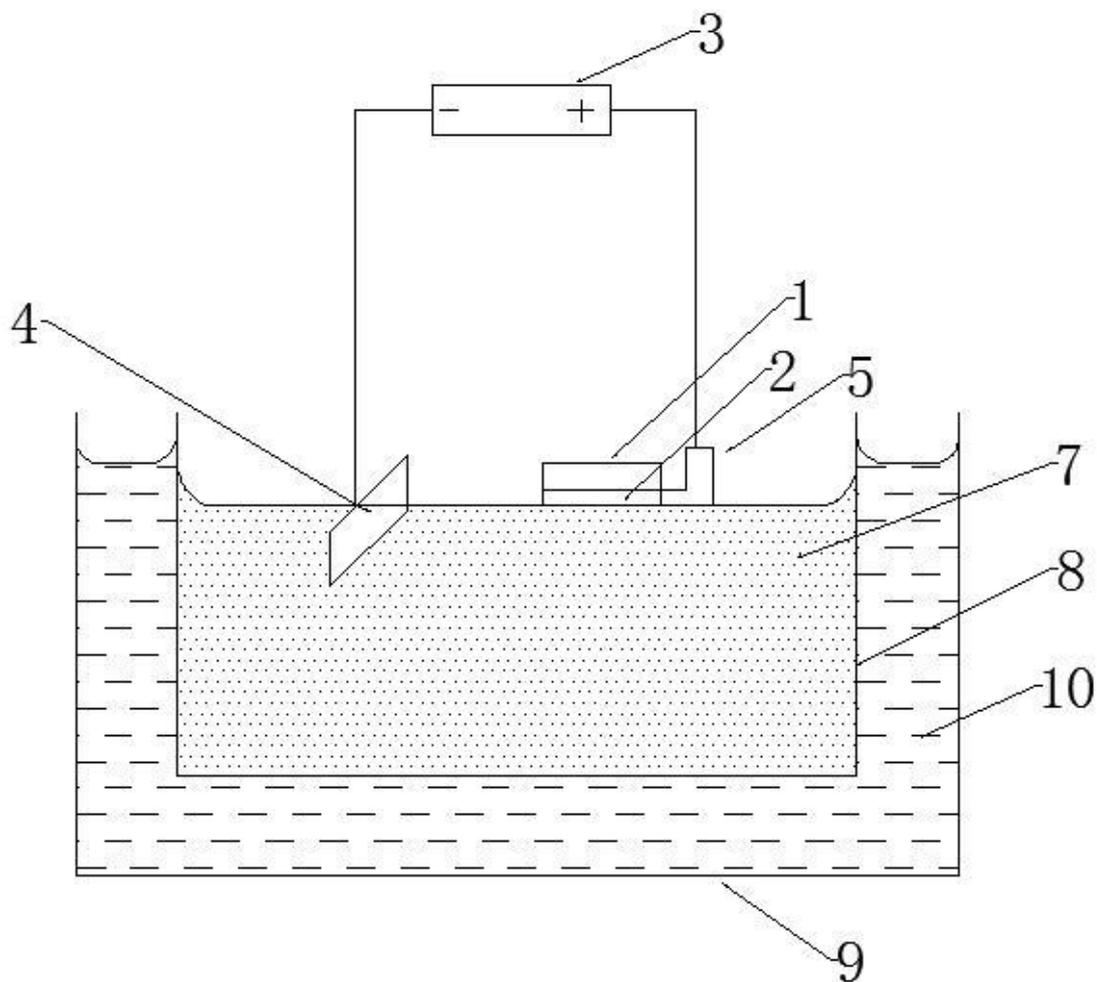


图 3 是本发明脉冲直流电阳极氧化装置的示意图

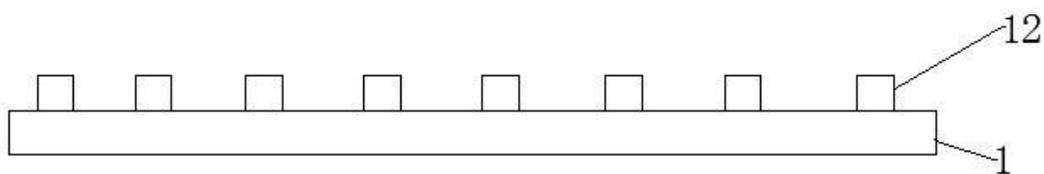


图 4 是本发明铝薄膜有孔阳极氧化后形成的纳米图形化蓝宝石衬底示意图

如图 1 所示，一种纳米级图形化蓝宝石衬底的制备方法，制备包括如下步骤：

(1) 选用平面蓝宝石衬底作为基体 1，平面蓝宝石衬底材料为六方纤锌矿结构单晶晶体，平面蓝宝石衬底的上表面粗糙度 Ra 小于 0.3nm。如图 2 所示。

(2) 通过用物理气相沉积 (PVD) 的方法在平面蓝宝石衬底 1 的上表面沉积一层铝薄膜 2，铝薄膜 2 的厚度在 100-200nm。

其中物理气相沉积 (PVD) 铝薄膜的方法可选用电子束蒸发，热蒸发，磁控溅射中的一种，优先选用电子束蒸发技术，制作铝薄膜 2 所选用的铝靶材纯度 $\geq 99.5\%$ ，电子束蒸发的条件为：真空度 $\leq 5 \times 10^{-6} \text{Pa}$ ，基体加温至 100~300°C，电子枪功率在 8KW 以上，厚度均匀性控制在 $< \pm 5\%$ 。

(3) 利用铝的有孔阳极氧化工艺，将铝薄膜阳极氧化成多孔的、连续的、有规则的纳米图形化结构，阳极氧化形成

的多孔结构贯穿整个铝薄膜，铝薄膜被阳极氧化后形成多孔氧化铝薄膜，与平面蓝宝石衬底复合形成得到纳米图形成蓝宝石衬底。

铝的有孔阳极氧化工艺采用脉冲直流电流阳极氧化或直流电流阳极氧化或交流电流阳极氧化中的一种。

优先选用脉冲直流电流阳极氧化，直流电压控制在 15~40V，电解液选用硫酸、草酸或其它中强酸的混合液中的一种，优先的选用硫酸，硫酸的浓度控制在 15%~30%，电解液的温度控制在 20~30℃。

如图 3 所示，脉冲直流电阳极氧化装置的装置主要包括脉冲直流电源 3、不锈钢阴极 4、阳极 5、镀有铝薄膜 2 的蓝宝石衬底片 6、电解液 7、反应槽 8 和水浴槽 9。将反应槽 8 至于水浴槽 9 中，将水浴槽 9 中的水 10 加热恒温至 20~30℃，从而保持反应槽 8 中的电解液 7 温度保持在 20~30℃，将不锈钢阴极 4 置于电解液 7 中，将阳极 5 导通连接在铝薄膜层 2 上，铝薄膜 2 表面与电解液 7 表面接触，通过脉冲直流电源 3 给不锈钢阴极 4 和阳极 5 通电加脉冲电流，电压加到 15~40V，电解液 7 为硫酸，硫酸的浓度为 15%~30%。

阳极氧化铝的制备过程分为四个阶段，第一阶段在接通电源时立即发生，生成氧化物阻挡层；第二阶段是在氧化物阻挡层表面的一些位置，开始形成一些孔状结构；第三阶段为阳极氧化继续进行，以第二阶段在表面形成的孔为基础，扩大孔的直径并加深孔深度，第四阶段阳极氧化趋于稳定，规则有序的阳极氧化孔得以形成。最终形成多孔的、连续的、有规则的纳米图形成结构。

铝薄膜 2 经过脉冲直流有孔阳极氧化工艺后，有孔铝阳极氧化层 12 和平面蓝宝石衬底 1 形成图 4 结构的纳米图形成蓝宝石衬底。

应当理解的是，本发明的上述具体实施方式仅仅用于示例性说明或解释本发明的原理，而不构成对本发明的限制。因此，在不偏离本发明的精神和范围的情况下所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。此外，本发明所附权利要求旨在涵盖落入所附权利要求范围和边界、或者这种范围和边界的等同形式内的全部变化和修改例。