

重要的蓝宝石质量测评指标

常见问题

评估蓝宝石品质时，哪些指标是真正重要的？

块状蓝宝石晶棒中可能存在一些缺陷，它们对 LED 下游工艺有重要的影响，包括外延生长与晶片成品率。这些缺陷包括：存在气泡（禁区）以及小角度晶粒边界。GT 的 ASF™ 生长工艺可在晶体生长期间大大减少这些缺陷。GT 开发了一种名叫 OHT（光学同质技术）的方法，它已证明能检测出这些重要的缺陷、气泡以及小角度晶粒边界。GT 的 ASF 客户可以使用这种方法做出等级的 ASF 材料。这保证了 GT 及其 ASF 客户只交付最高质量的晶棒，从而最大化成品率。

蓝宝石品质的真正标准是蓝宝石如何实现重要的 LED 晶片参数，如表面光洁度（Ra）、总厚度均匀度（TTV）、平整与翘曲等。晶片不合格率及最终成品率都是晶片制造商的重要标准，因为它直接影响着自己的经济效益。GT 最近完成了一次评估蓝宝石材料对 LED 晶片制造影响的盲测研究。该研究证明了蓝宝石材料源的质量与特性对 LED 晶片成品率有直接的影响，并且，一家独立 LED 晶片制造商对四家供应商的材料做了盲测测试后，GT ASF 生长的蓝宝石材料获得了最高的晶片成品率。GT ASF 蓝宝石还在总体性能上（包括晶片不合格率、EPD 结果以及晶片几何形状等）表现最好。（见《成品率问题：蓝宝石材料对 LED 晶片成品率的影响》案例分析 - <http://www.gtat.com/resources-casestudies.htm>）

这篇 LED 晶片分析是由 GT 发起的一个较大规模复杂材料特性分析项目的一部分，目的是研究蓝宝石材料性质对整个高亮 LED 价值链的影响，并在 LED 供应商的每个步骤上，寻找一组评估蓝宝石质量与成品率的完备标准。GT 会发表更多的论文，报告在当前与未来研究中发现。

在确定 GT ASF 蓝宝石品质方面，颜色是否是一个“重要的指标”？

不是，没有证据表明 GT ASF 蓝宝石的粉红色是一种与质量相关的指标，并且，GT ASF 蓝宝石的颜色对任何制造工艺或高亮 LED 器件性能都不存在负面影响。尽管颜色与某些蓝宝石中的污染相关联，但 GT 已经做了大量的辉光放电质谱（GDMS）研究，证明 ASF 蓝宝石的粉色调不表明有任何的污染或杂质。GT ASF 蓝宝石已被证明满足并超过了 99.9995% 的晶片纯度标准。另外，研究证明，GT ASF 蓝宝石的颜色在标准外延式晶片生产工艺中经过退火工艺后会去除，因为在晶片级，任何及所有蓝宝石晶片都要做后退火，而抛光与研磨工艺所产生的应力会从蓝宝石晶片中除去任何颜色的痕迹，这与蓝宝石的来源无关。GT 曾做过大量研究，评估了蓝宝石颜色对 LED 生产的影响，并在名为《蓝宝石颜色对高亮 LED 制造的影响》的一个案例研究中发表了这一颜色分析结果。

(<http://www.gtat.com/resources-casestudies.htm>)

GT 曾做过一个名为 PCI（光热共光路干涉法）的传输分析，是用斯坦福大学的高端 LIGO（激光干涉引力波天文台）做吸收研究。该研究表明，GT ASF 粉红色材料的吸收率最低，意味着光传输要高于 KY 的两家供应商，以及一种 HEM 类生长的蓝宝石。

GT 蓝宝石是粉红色吗？粉红色是什么引起的？

是粉红色，采用GT ASF生长的蓝宝石会带有粉色调。ASF蓝宝石中的粉色调是一种工程化生长工艺的结果，这种工艺针对LED应用做了材料优化，提高了高品质LED蓝宝石的成品率。粉色调并非表示GT ASF有杂质或被污染。正是因为确定GT蓝宝石颜色与质量无关，GT选择使用这种可以优化生产成本的高成品率工艺来生长人造刚玉。

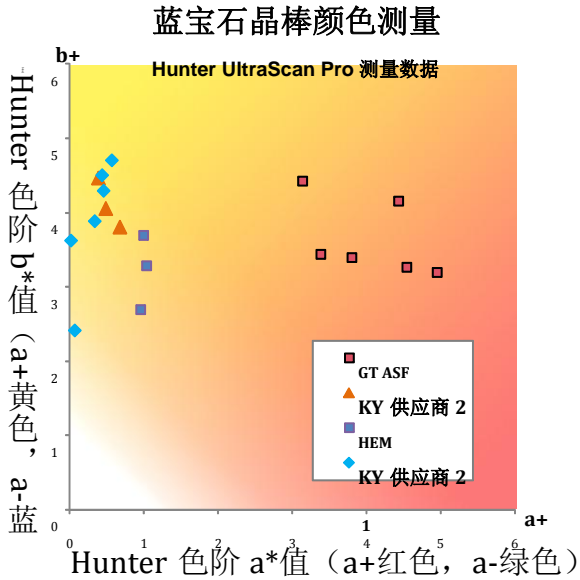
研究表明，GT ASF材料更偏重红色色调，这与ASF生长刚玉的粉红色外表有关。虽然GT ASF蓝宝石呈现粉色调，但其它供应商的蓝宝石也是有颜色的，我们在材料特性鉴定过程的测量结果也表明如此。采用其它生长技术的材料显示出更多的黄色调，这在普通光照条件下不太明显。

如果粉色调不是杂质引起的，那么什么是形成这种特殊粉色调的原因呢？

没有绝对纯净的晶体。热力学指出，所有晶体中都存在一定比例的晶体缺陷，包括蓝宝石，即使这种缺陷的量级十分微小。人们已经知道，像空穴（原子从晶格中逃逸掉）或空隙（多余原子出现在错误的位置）等缺陷都会产生颜色，科学文献表明，这些缺陷可能是蓝宝石中有粉红色的原因。我们最近的研究发现，在我们 ASF 生长材料中观察到的粉色调，不会在高亮 LED 晶片制造的下游工艺中造成任何问题。

您如何知道所有蓝宝石都有颜色？

GT 采用 Hunter UltrascanPro 工具，对来自 GT 和其它蓝宝石供应商的晶片样本做了大量研究，该工具是用于测量颜色及其浓度的先进计量工具。正如本文下面所展示的那样，这种评估结果表明所有蓝宝石都有颜色。GT ASF 材料被发现有较浓的红色色调，这与 ASF 生长的人造刚玉中出现的粉红色有关。对其它供应商的材料也做了测试，结果发现有一种黄色色调。而在普通照明条件下，黄色较红色不容易被肉眼识别。



ASF 蓝宝石中的粉红色是否表明质量较差或有污染？

不是这样。GT ASF 蓝宝石中的“粉红色”并不表示有杂质、污染或品质不良。这有第三方分析的数据证明，还有长期 LED 客户的直接反馈，他们很多都是领先的晶片制造商和 MOCVD 生长领域的厂家，还有许多需要极高品质蓝宝石材料的行业市场领导者。包括：

GDMS 分析证明，粉色调的 ASF 蓝宝石并不表示有杂质或污染。

GDMS 分析是 GT 与一家独立实验室合作分析 ASF 蓝宝石材料，结果表明其纯度与其它竞争者的蓝宝石相当，甚至更高。ASF 的晶体生长有极低含量的钒、铬、钼、铁、钛与镁，它们均与蓝宝石的颜色有关。这一分析表明，原始氧化铝所含元素的水平与蓝宝石生长工艺后的杂质水平相同，证明 ASF 工艺没有增加污染。（见《蓝宝石颜色对高亮 LED 制造的影响》- <http://www.gtat.com/resources-casestudies.htm>。）

盲测研究证明 GT ASF 蓝宝石获得了品质与成品率的领先。 GT 主持了与一家独立晶片工作室的盲测研究，在关键的外延制造步骤中分析多家供应商的蓝宝石性能。在所测试的四家供应商材料中，GT ASF 生长的蓝宝石材料有最高的成品率，总性能位居第一，这些性能标准包括不合格晶片率、EPD 结果，以及晶片几何形状。（见《成品率问题：蓝宝石材料对 LED 晶片成品率影响》案例分析 - <http://www.gtat.com/resources-casestudies.htm>）

客户反馈验证了 GT ASF 蓝宝石的最高品质。 GT 专利的 ASF 工艺源于 Crystal Systems 公司长达 40 年的创新传统以及领先的品质，GT 于 2010 年 6 月收购了 Crystal Systems 公司。在 12 年的时间里，GT 一直

在为 LED 业提供蓝宝石，今天它仍为前十大 LED 晶片制造商中的六家供应蓝宝石材料，GT ASF 材料已通过了一家领先的高亮度器件制造商的认证。另外，GT 还向其它行业市场提供蓝宝石材料，包括品质标准比 LED 市场高得多的光学市场。无论哪个市场的 GT 客户都毫无例外地对 ASF 生长蓝宝石材料的优异品质给出了正面评论。

消除 GT 蓝宝石中的粉红色是否要一些额外的步骤或成本？GT 这类有色蓝宝石是否需要特殊处理，才能保持原始纯度的化学性或成本？

不需要。GT ASF 蓝宝石在整个制造工艺中的处理方式与任何其它来源的蓝宝石完全一样，GT ASF 材料无需采用额外的步骤或附加成本。LED 晶片客户以及他们的客户已经直接证实了这一点。

对于不去除蓝宝石的芯片设计（如倒装蓝宝石），GT 粉红色蓝宝石是否会影响到光学透明度？

GT 向全球绝大多数顶级晶片制造商供应蓝宝石，并已获得了他们的认证。GT 坚信，当光线通过 GT ASF 蓝宝石时，对倒装片和其它器件结构都没有负面影响。另外，GT 已证明 ASF 蓝宝石中的颜色会在标准外延式晶片制造工艺中消退，而消退后的光传输会达到理论的最高值。

GT 在斯坦福大学曾做过名为 PCI（光热共光路干涉法）的传输分析，通过高端 LIGO（激光干涉引力波天文台）研究吸收。该研究表明，GT ASF 粉红色材料的吸收最低，意味着光传输要高于 KY 的两家供应商，以及一种 HEM 类生长的蓝宝石。

GT ASF 蓝宝石中的粉红色对吸收率与传输有什么影响？

一家第三方最近使用 PCI 所做的研究证明，当光线通过蓝宝石衬底时，采用 GT ASF 材料生产的晶片对器件的吸收率与光传输都没有负面影响。事实上，在所有被测材料中，GT ASF 材料有最低的吸收水平，粉红色最深的 GT 材料实际测得的吸收水平也最低。

PCI 是斯坦福大学为测量光学元件的吸收而开发的一种方法。PCI 法专门用于对低吸收材料的高灵敏度测量，它是一种测量 400nm 至 700nm 波长光吸收的高精度方法。

研究证明，采用 GT 材料生产的晶片测得的吸收率为 0.2%/cm，远远低于 HEM 类样品的数据，后者有 1.6%/cm 的最高吸收测量值，相当于 GT 材料值的 8 倍。GT 材料在 455nm 时的吸收率不到 0.1%/cm，这个吸收值非常小，不会对通过蓝宝石衬底传播 LED 光的器件产生任何负面影响。这个吸收率也远低于倒装高亮 LED 业所担心的 3%-5% 的水平。

（《蓝宝石颜色对高亮 LED 制造的影响》）（<http://www.gtat.com/resources-casestudies.htm>）。

理论而言，光学透明度的降低是否意味着损失了每晶片流明值？

GT 已对光的传输做了大量分析，保证 ASF 材料不会对 LED 器件性能带来任何影响。光学透明度的效应并无意义，并且与其它供应商产品没有差别。采用 GT ASF 制造的高亮 LED 器件没有流明损失。采用 PCI 测量的 GT 材料的吸收率小于 0.1%/cm，低于被测的其它供应商产品，包括 KY 与 HEM 类蓝宝石。这个吸收值非常小，不会对光学透明度产生任何负面影响。

什么是 OHT？

OHT 是 GT 用于评定人造刚玉或晶棒级蓝宝石品质的非破坏性方法。OHT 可在人造刚玉和晶棒水平上，探测其中的气泡和晶格缺陷，然后再开始其他的下游制造工序。OHT 包括了偏振光下的目视检查，以探测小角度晶粒边界（谱系）、孪晶，以及蓝宝石体晶格扭曲。另外，蓝宝石要在高亮度白光下检查，以观察晶棒中是否有气体或气泡。

ASF 与 Kyropoulos 的差异？

GT 的 ASF 方法基于 GT 通过收购 Crystal Systems 公司获得的热交换器方法（HEM）。这种方法采用了一只坩锅，底部置入一个籽晶，在用热交换器冷却籽晶的同时，融化蓝宝石原料。ASF 方法的优点是从底部开始生长蓝宝石晶体，这意味着籽晶与晶体的生长都开始于坩锅底部，晶体向上生长。ASF 方法的优势在于融熔中的气泡这类缺陷都会上浮，远离晶体生长前沿，并脱离熔液的表面。这种方法不同于 Kyropoulos（Ky，凯氏长晶法）以及 Czochralski（Cz，柴氏拉晶法），后两者都是从液态蓝宝石顶部开始做籽晶和生长，蓝宝石晶体会捕获住缺陷与气泡。另外，ASF 方法没有活动件，加热成本低。Ky 与 Cz 两种方法在生长中都有活动件，所用加热器的成本较高，寿命较短。

C 轴生长与 A 轴生长的优点是什么？

GT ASF 采用了 A 轴生长，因为它已证明有更高的成品率和经济性。A 轴生长要快于 C 轴，因此可选择较大面积的 A 轴生长面，这已证明是 ASF 的一个优点。蓝宝石是可循环再用的，这一事实又使 A 轴生长增加了较 C 轴应用的优势，从而使蓝宝石晶体生长的价值标准定义为\$/mm，而不可再循环利用材料的工艺则不同，因为它们的价值标准是大晶块成品率。