准分子激光器

准分子激光器应用呈现多样化发展趋势

文/Ludolf Herbst，Coherent Laser Systems GmbH 产品线经理

世界上首台商用准分子激光器由 Lambda Physik（现隶属相干公司）于 40 年前推出。虽然此后出现了众多其他激光技术（例如半导体泵浦固体激光器和光纤激光器），但是准分子激光器从未退市。实际情况恰恰相反，准分子激光器的应用范围呈现不断扩大并向多样化发展的趋势。可以说，如今很少有其他激光技术对我们日常生活的影响能超过准分子激光器。下面，我们将集中介绍准分子激光器的特性及其主要应用。

独特的激光输出特性带来独特优势

准分子激光器以独特方式将深紫外（UV）波长输出与高脉冲能量结合在一起；实现这种结合是其得到广泛应用的关键所在。因为这种特性组合，目前尚无任何其他技术能挑战准分子激光器在市场应用中的地位。在材料加工领域，短波长能够以极高分辨率实现极微小特征的加工；这是因为（基于衍射原理，光学分辨率与激光波长成反比）衍射的物理原理定义了光学分辨率与波长间的直接比例关系。高脉冲能量结合高重复频率，在保证高产能的同时缩短了生产时间（生产单位产品所需的总时间）。

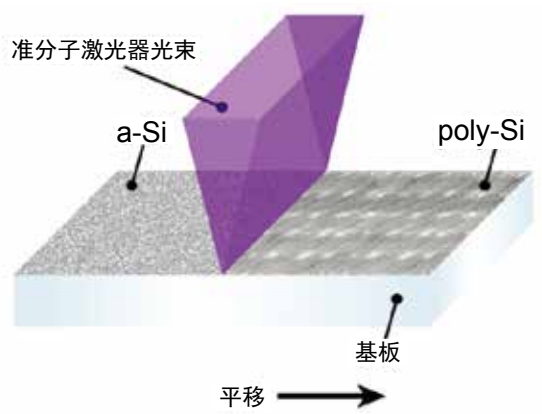

图 1：ELA 工艺示意图。

从实践（实用）角度看，准分子激光器能在市场上拓展其应用范围，一方面是因为制造商花费大量精力，根据特定应用，定制了准分子激光器的输出特性。另外一个重要原因则是，激光器生产商极大改善了准分子激光器的服务特性、并降低了它的总拥有（使用）成本，让准分子激光器与其他激光和非激光技术相比更有竞争力。

显示屏制造

使用准分子激光器进行激光退火，可以满足几乎所有高端智能手机的显示屏制造，尤其是基于有源矩阵液晶显示屏（AMLCD）和有源矩阵有机发光二

图 2：相干公司的 LineBeam 1000/TwinVYPER 系统是当今制造高分辨率 LCD 和 AMOLED 手机显示屏的标配设备。

极管（AMOLED）的智能手机。这两种显示屏技术所用的背板均包含一块玻璃基板。大量薄膜晶体管（TFT）在这块玻璃基板上由一层硅薄膜光刻成型。

利用大面积 CVD 沉积可生成非晶硅（a-Si）。通过将非晶硅薄膜转换成多晶硅（poly-Si），可以提高电子迁移率，从而让微小的 TFT 具备卓越的电气特性，进而降低显示屏功耗并提高分辨率。

非晶硅层通过准分子激光退火（ELA）的工艺流程，转换（转变）成多晶硅。具体来说，就是使用准分子激光器的脉冲光束对非晶硅膜进行扫描（非晶硅膜可有效吸收准分子激光器输出的波长为 308nm 的激光能量）。非晶硅膜的这种高效吸收特性，再加上准分子激光器的高脉冲能量，不仅让非晶硅有效熔化，还能有效防止紫外光渗透至基板内部，从而避免了热应力，让使用经济的玻璃材料来制造基板成为现实。

生产作业在大面积玻璃板（例如 Gen 6，1.5m × 1.8m）上进行，随后再将大面积玻璃板切割成大量单独的显示屏。在 ELA 系统中，准分子激光器的矩形光斑经过整形匀化处理，形成能量分布均匀的细长光束（其长度通常等于玻璃板宽度，或玻璃板宽度的一半）。激光束扫描整块玻璃板一到两趟便可完成加工作业，这对于实现必要的加工利用率（高加工效率）和高产能至关重要。20 年来，相干公司（及其前身 Lambda Physik）一直是 ELA 领域的开拓者。

这种成功得益于在高功率准分子激光器技术和紫外光学系统方面均取得了显著的技术进步，因此产生了高脉冲能量和能量分布均匀的线型光斑——这也正是实现大尺寸显示屏均匀退火的必要条件。

激光剥离技术

在智能手表、智能手机和其他便携式微电子产品的生产中，柔性显示屏变得越来越不可或缺。但是，由于柔性显示屏中使用的薄塑料基板过于柔软，无法使用常规工具处理。因此，显示屏电路通常需要预先放置到涂有

聚合物的刚性玻璃载体上进行加工，器件完成切割后再与玻璃衬底分离。

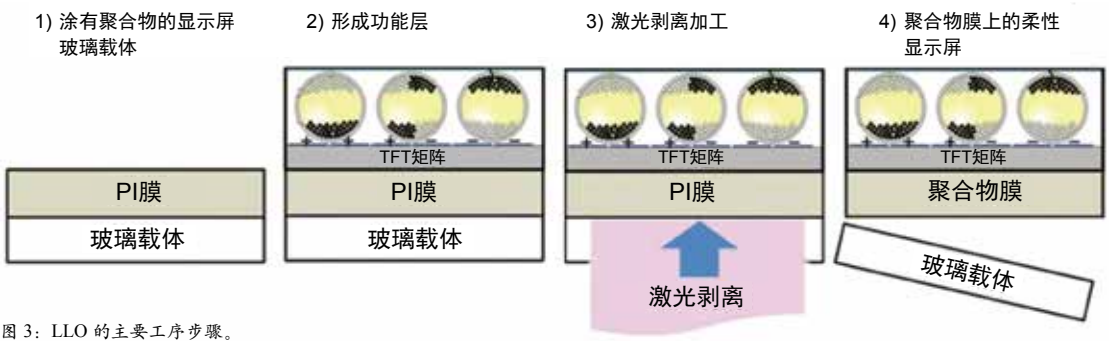

图 3：LLO 的主要工序步骤。

与其他热剥离或化学剥离技术相比，激光剥离技术（LLO）是将显示屏与其衬底分离的首选方法。在 LLO 工艺中，紫外光的高脉冲能量输出整形聚焦成一条细长光束。加工时该光束穿（透）过透明玻璃载体，在基板上扫描一次。该光束宽度等于整块板材宽度，就目前这一代显示屏而言，这一宽度可能会超过 1 米。由于该光束能量极易被聚合物吸收，仅能烧蚀结合部位薄层中的材料，从而使器件立即从载体脱落，并不会对显示屏电路造成任何损伤。

如今波长为 308nm 的准分子激光器已成为 LLO 生产中最常用的激光光源。原因在于，这种准分子激光器既能提供高脉冲能量，又能整形聚焦成沿各轴能量均匀分布的光束（平顶光束）。这样，只需一到两个激光脉冲便可处理板材上的每个点，并且相邻脉冲间几乎无重叠。由此获得的工艺窗口比使用高斯能量分布的激光源大得多。而且使用其他激光器会产生较大的脉冲重叠区域，光束能量分布却不如准分子激光器均匀。

准分子激光器的独特之处还在于它提供“按需脉冲”。也就是说，准分子激光器实际上仅在加工时才工作，其他时间（例如加载和卸载板材时）则处于空闲状态。这可以降低运营成本，并延长激光器和光学器件的维护周期。高能量紫外固态激光器根本无法做到这一点。它必须在连续工作时才能保持稳定的输出特性。因此，使用准分子激光器时，可以最大程度降低每块板材的加工成本，并满足每小时 10,000 块智能手机显示屏的产率。

脉冲激光沉积

YBCO（钇钡铜氧）等所谓的“高温超导体”材料在温度高于 77K（液氮温度）时超导电性也非常好，这种材料已经应用到电缆、故障限流器和变压器等商业应用中。要想实现更广泛的部署，此技术面临的最大局限是 YBCO 涂层导体在全球范围内产量很小。准分子激光器在扩大其产量方面扮演着重要角色。

具体来说，准分子激光器可以使用脉冲激光沉积（PLD）技术将 YBCO 薄膜沉积在长长的柔性基板带上，从而实现卷对卷生产过程。在 PLD 中，脉冲激光束会快速烧蚀靶材，从而生成高能等离子体羽流，该羽流从靶材向外传播并沉积在卷带上。与其他沉积方法相比，PLD 的主要优点是沉积薄膜内各成分的化学计量关系与靶材一致，从而保留 YBCO 的关键电气属性。

PLD 系统利用一个 308nm 准分子激光源，将激光分成几个光束，从而在靶材上创建多个羽流。卷带盘绕在几组大直径辊上，并多次穿过沉积区，直至达到所需的层厚（通常为 1~2μm）。对于宽度 4~12mm 的卷带，加工速率可达 0.5~200m/h。

光纤布拉格光栅（FBG）刻写

沿着激光传播方向对光纤纤芯折射率进行周期性调制，即可形成光纤布拉格光栅（FBG）。FBG 可被用作反射器或者滤光片，在电信领域广泛使用，或者被当成谐振腔端镜，广泛使用于光纤激光器中。此外，它还被用作温度和压力（或机械运动）传感器。这是因为环境温度或机

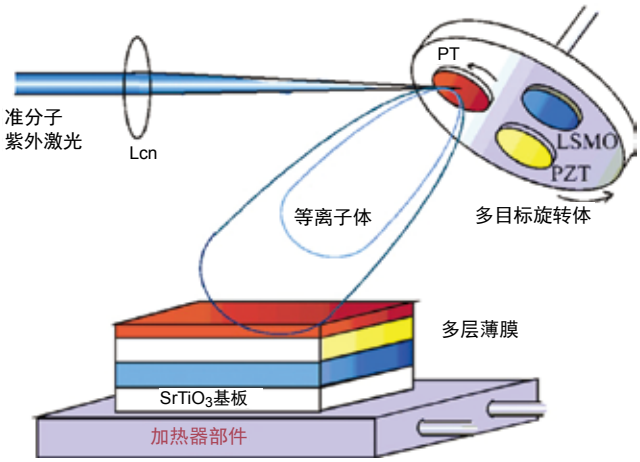

图 4：PLD工艺的简化示意图。

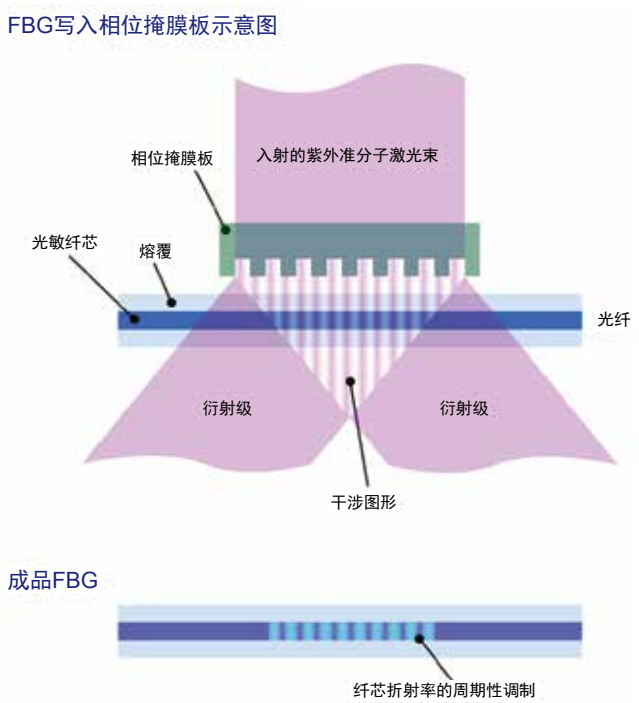

图 5：相位掩膜板刻写FBG的方法和结果示意图。

械应力的变化会引起光栅周期或有效折射率的变化，这一变化又会改变 FBG 反射光谱的中心波长。

FBG 的制造有赖于大部分光纤的纤芯掺有锗（为了增加折射率系数）并且对紫外（UV）光具有光敏性。因此，紫外光可以引起折射率系数永久改变。

在实践中，生产 FBG 的途径是让准分子激光器穿过相位掩膜板（实质是衍射光栅）。这会形成条纹间隔具有所需光栅周期的干涉图形。光纤置于此图形下曝光，纤芯的折射率系数产生永久的周期性改变。

准分子激光器是 FBG 生产的最常用光源，输出波长通常为 248nm 或 193nm。它们提供的输出功率非常高，可以让 FBG 的曝光时间持续数秒到数分钟不等。使用这些激光器，甚至还可以将 FBG 生产集成到光纤拉丝过程中。

结论

准分子激光器可用于多个半导体显微光刻领域，被广泛用于智能手机中的集成电路，智能手机、平板电脑的显示屏制程，宽带通信所用光纤内的 FBG 刻写术，每年帮助超过一百万人改善视力的 LASIK（激光辅助原位角膜磨镶术）。这项技术已经获得广泛应用，即使已经出现 40 年，准分子激光技术仍在不断改进和提高。我们非常看好准分子激光器的前景。❑