

**GCS-SX09**

**激光微加工实训平台**

**使用手册**

大恒光电（北京）

# 目 录

1 激光加工技术应用的发展介绍.....	2
2 激光微细加工实现原理.....	4
3 系统构成及参数介绍.....	6
4 实训内容与操作步骤.....	11
4-1 软硬件准备与检查.....	
4-2 识别光路系统中的各个功能部件，学习理解其在系统中的作用	
4-3 调试校准激光束耦合光路，学习操作在加工软件中激光设定功能	
4-4 精确定位激光加工面的 Z 向位置，匹配显微成像模块	
4-5 标定当前显微成像模块	
4-6 学习操作在加工软件中绘制图形的基本功能	
4-7 标定当前加工系统的微缩系数并验证	
4-8 在抛光硅片表面进行精确定位的微图形雕刻加工	
4-9 更换聚焦物镜，总结加工参数的相应变化	
4-10 分析激光参数设置以及聚焦物镜参数选择对加工效果的影响，做出最优系统匹配评估	
4-11 加工中遇到问题分析及故障排查	
5 紧急情况处理及日常维护.....	30
6 联系方式.....	30

## 1 激光加工技术应用的发展

随着激光技术不断发展，激光器的性能也得到了不断的改善，激光与物质相互作用的研究引起人们的高度重视，激光加工技术也取得了巨大进展。

激光加工发展的第一阶段始于 20 世纪 60~70 年代，为了得到高功率，主要采用红外和近红外波段的 CO<sub>2</sub> 气体激光和 Nd:YAG 固体激光系统，目前平均功率可达千瓦量级，光能量的输出方式局限于纳秒脉冲范围内。在这一时期，激光加工的主要材料是金属，加工过程包括打孔、切割、焊接、淬火和雕刻等多种形式，激光加工的原理是基于材料中的电子通过对光子共振线性吸获得的热能，将材料逐步熔化、蒸发去除，因此本质上依赖于材料的热学特性，属于热熔性过程和“粗加工方式”。在这一技术中，由于激光脉冲持续时间较长，远大于材料的热扩散时间，造成吸收的光束能量不可避免地扩散到周围的区域，对于材料的微加工来说，这一条件绝非理想。

激光加工发展至 20 世纪 80 年代，开始出现紫外波段输出的准分子激光系列，利用它的短波长特性实现对聚合物、陶瓷等非金属材料进行打孔、雕刻、表面处理等多种微细加工，并且在激光医疗等方面得到了一定程度的应用。在这一技术中，材料通过线性吸收单个光子的能量就可以直接切断其中的分子或原子结合键，在表面生成等离子体，因此实质上属于光化学反应，而非热熔化过程，其中的热扩散影响较小。另外由于波长很短，光束容易聚焦，因此加工精度也得到了

相应的提高，但它仍受光学系统衍射极限的限制。事实上，紫外激光的微加工也存在着无法回避的局限：一方面，由于紫外激光与物质的作用根本上仍基于共振吸收的原理，使得加工处理的材料种类和范围受到严格限制，例如对于多数光学玻璃和石英材料（主要成份是 $\text{SiO}_2$ ），吸收带能量大，相当于 133nm 的吸收波长，紫外激光正好位于吸收带的边缘，几乎是透明的，因此很难进行加工处理。另一方面，尽管在作用过程中没有热扩散现象，但单个光子的线性吸收足以使材料发生变化，因此这种穿透性实际上阻止了激光越过表面，深入材料表面进行三维结构修复和制作的可能性，使得紫外激光加工只能停留在材料表面一维和二维的操作，具有较差的空间方位选择能力。

20 世纪 90 年代初，随着宽带可调谐激光晶体和自锁摸技术的出现，飞秒激光技术得到了突飞猛进的发展。以掺钛蓝宝石为代表的新一代飞秒激光器，输出光脉冲的持续时间最短可至 5fs，激光中心波长位于近红外波段（800nm 左右），特别是借助了啁啾脉冲放大技术，单个脉冲能量从几个纳焦放大至几百豪焦，甚至焦耳量级，此时脉冲的峰值功率可达 GW 或 TW，再经过聚焦后的功率密度为  $10^{15} \sim 10^{18} \text{ W/cm}^2$ ，甚至更高。具有如此高峰值功率和极短持续时间的光脉冲与物质相互作用时，能够以极快的速度将其全部能量注入到很小的作用区域，瞬间内高能量密度沉积将使电子的吸收和运动方式发生变化，避免了激光线性吸收、能量转移和扩散等的影响，从而在根本上改变了激光与物质相互作用的机制，使飞秒脉冲激光加工成为具有超高精度、超高空间分辨率和超高广泛性的非热熔“冷”处理过程，

开创了激光加工的崭新领域。

以下我们要展开介绍的就是大恒光电向您提供的基于 4f 系统耦合+短焦聚焦镜会聚进行微细加工的实训系统。

## 2 激光微细加工实现原理

常规的激光标刻加工，是利用激光会聚所产生的高能量，在样品表面产生“损伤”痕迹，痕迹分布与未破坏的表面部分对比产生变化，从而形成人眼可见的图案。相对于传统的物品表面印刷图案，激光刻蚀加工图案牢固，不会脱落消失，便于持久保存。

激光微细加工，是为了在小区域范围内雕刻出微细的图案，其肉眼已经不易察觉，需要借助显微镜等特殊方式才能观察到。现实生活中如钻石编号、微型芯片参数标识等领域有所应用，激光微细加工实现起来相较常规雕刻加工要特殊一些，体现在：1 笔画微细，2 定位精确两个方面。

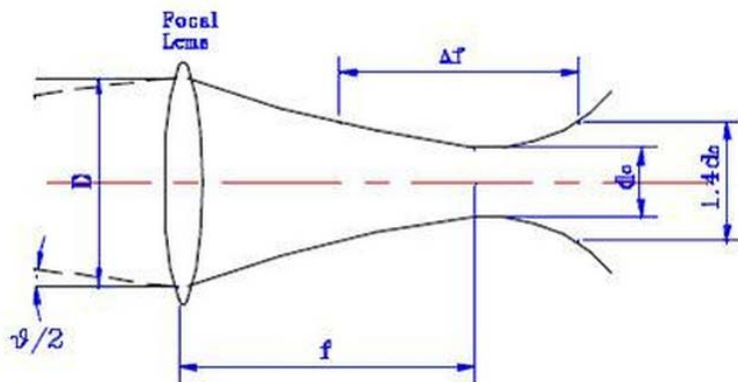


图 2-1 激光高斯光束聚焦示意

首先实现笔画微细，需要激光会聚后的光斑足够小。如上图 2-1 所示，根据衍射理论，用理想透镜（组）对准直激光束进行聚焦，聚焦光斑的大小取决于  $M^2\lambda f/D$ ，选用最优光束质量的激光，波长尽量

短，聚焦镜的焦距尽量小，则可以获取相对小的聚焦光斑。

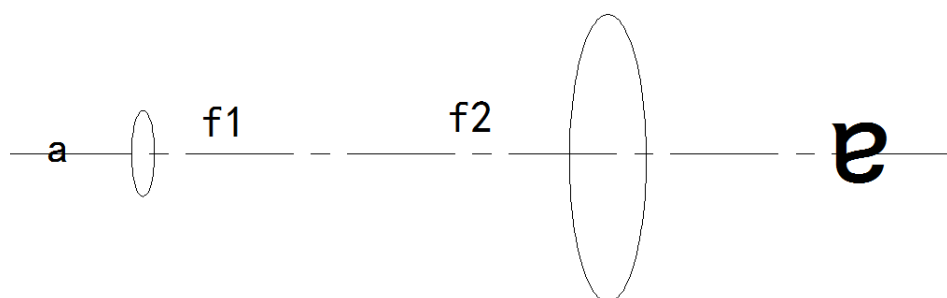


图 2-2 加工面叠加的显微成像示意

其次微小尺寸需要精确定位的话，就一定要叠加匹配显微成像装置同步观察。如图 2-2 所示，短焦激光聚焦镜与其后方的长焦透镜近似  $4f$  系统的配套，可以将聚焦镜焦面附近的物成一倒置的放大像。

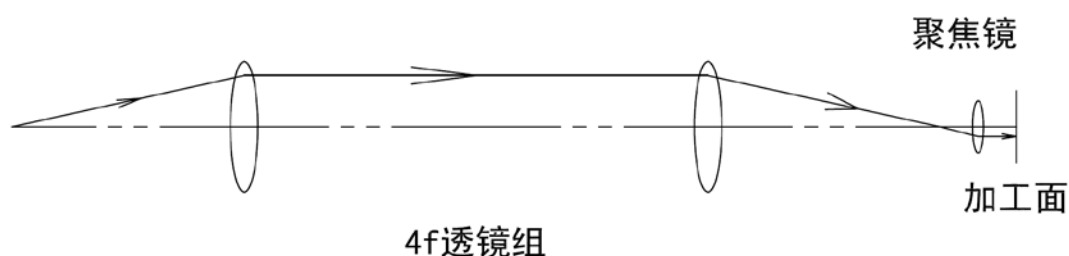


图 2-3 长焦  $4f$  镜组耦合短焦镜示意

在实现上述两个技术前提后，我们还需要让会聚的激光束在加工面上可控地运动起来，这样才能得到希望的雕刻图案。激光束通过二维扫描振镜反射扫描出图案，已经在常规激光加工领域广泛应用，技术成熟，可以直接加以利用，现在只需要解决二维扫描振镜与短焦聚焦镜的耦合匹配。如上图 2-3 所示，在扫描振镜与聚焦镜之间增加一组  $4f$  耦合镜，连接振镜的反射起始点与聚焦镜的后焦面， $4f$  镜组的焦距要明显长于聚焦镜，如此下来，被振镜反射偏折的准直激光束就

可以耦合入聚焦镜中，且被聚焦镜会聚于加工面。

### 3 系统构成及参数介绍

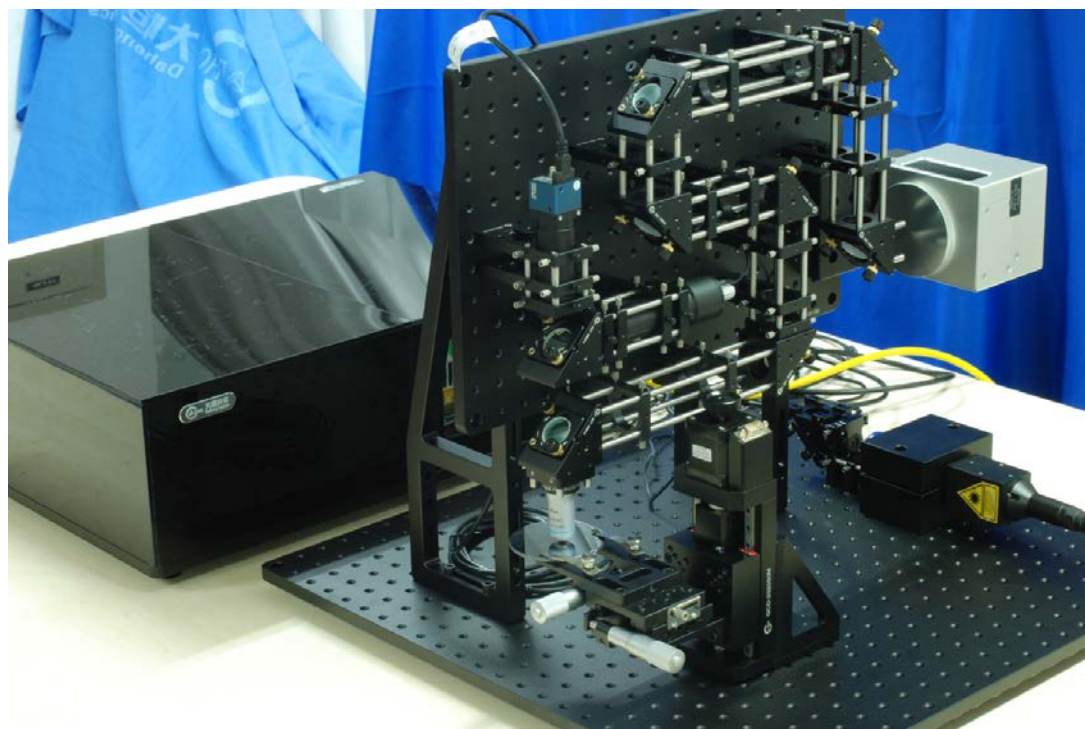


图 3-1 系统总体构成

如图 3-1 所示，微细加工系统整体分为两大部分，安装在精密多孔台板上的激光加工部分和独立电源控制箱部分，激光加工部分可以再进行进一步分成系统光路部分和样品台部分。

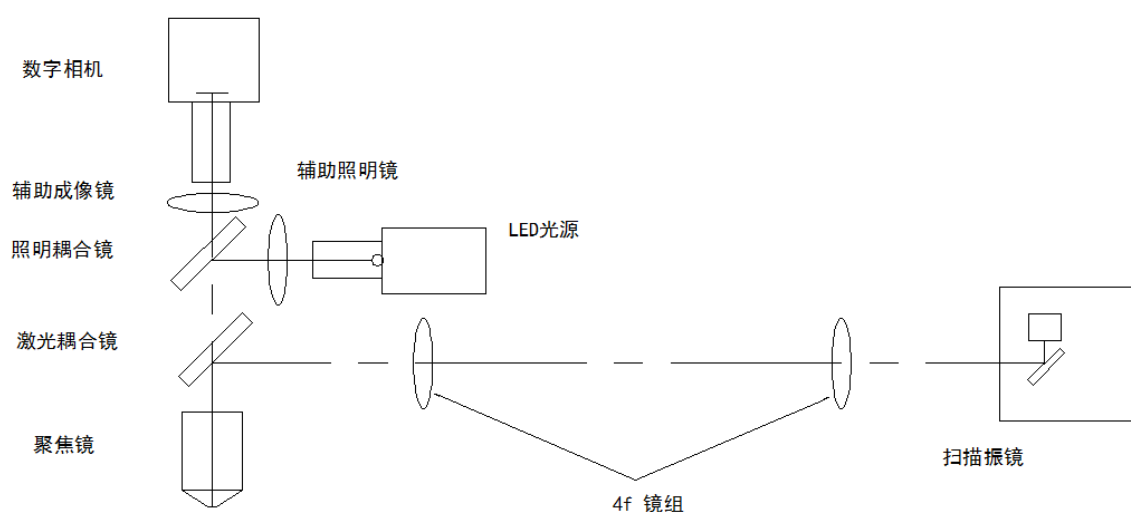


图 3-2 系统光路部分结构示意图

如图 3-2 所示，系统光路是由三部分叠加组合而成。1 激光光路从扫描振镜中出射，经 4f 镜组后再反射，由聚焦镜会聚。在实物光路中，4f 镜组部分通过多次平面反射，将超过 1m 的总长度压缩到约 1/3 规模，便于实物设置安装。2 显微成像光路与激光光路共用聚焦镜，后经辅助成像镜在相机靶面形成倒置放大的图像。3 同轴照明光路，LED 光源发出的光先由辅助照明镜收集，再反射后经共用的聚焦镜集中照明成像区域。

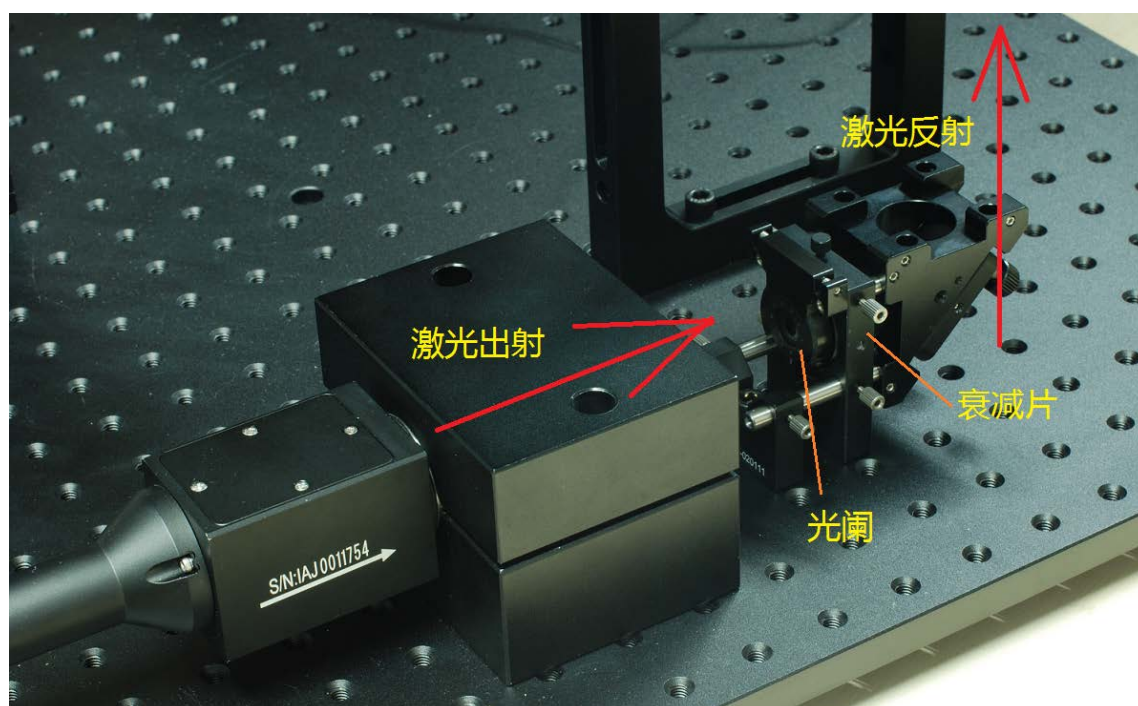


图 3-3 激光出射装置示意

激光来源是光纤脉冲激光器，激光器主机安装在电源控制箱体内，经光纤传输并扩束准直后输出。激光器的输出波长为 1064nm，调 Q 脉冲重复频率为 20KHz-80KHz 可选，激光脉冲宽度约为 100ns，输出最高平均功率 20W，如图 3-3 所示，激光输出头固定在振镜下方，经两次反射后进入振镜。进入振镜之前，激光束先经过了光阑孔（限制光斑大小）和衰减片（对激光基础强度进行衰减），使用过程中可以



调整及拆装。

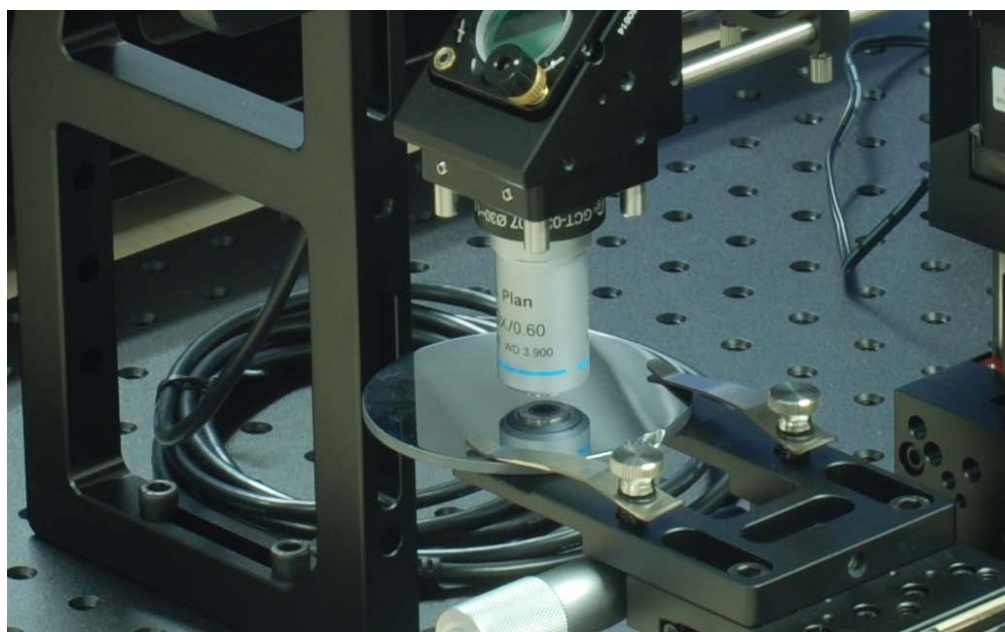


图 3-4 激光聚焦镜

激光聚焦镜是整个激光微细加工系统中的核心元件，使用高数值孔径的显微物镜，既决定了激光聚焦点的大小，也影响显微成像系统的放大率。如图 3-4 所示，本系统中提供了 40x，NA0.6 的物镜和 10x，NA0.25 的物镜，使用过程中可以更换安装比较体验。

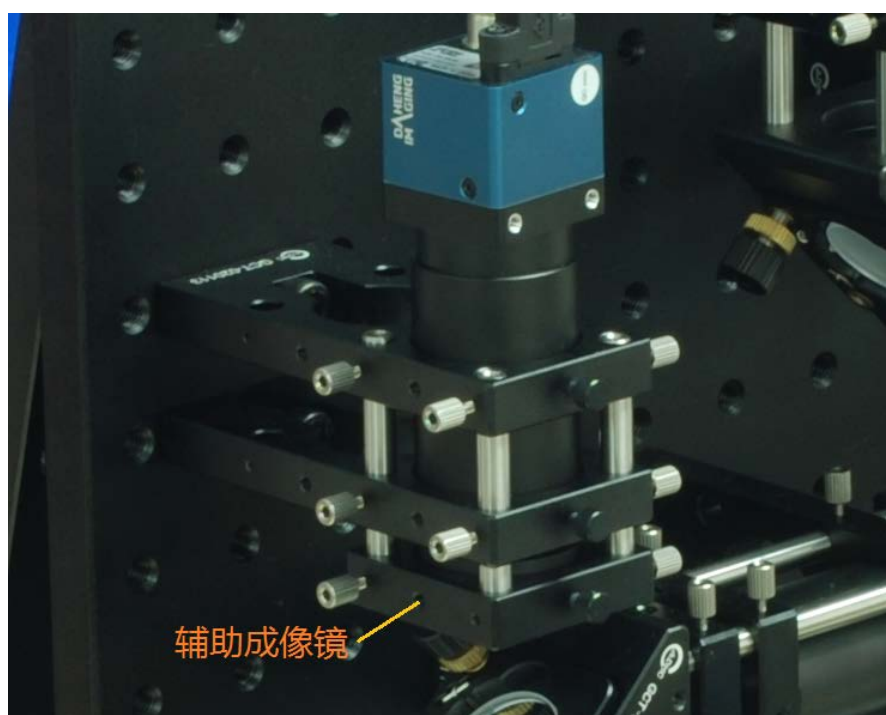


图 3-5 显微成像部分

辅助成像镜与激光聚焦用的显微物镜共同组成了显微成像系统，在显微物镜不更换的情况下，不同焦距的辅助成像镜，会小幅度改变放大倍率和成像视野。如图 3-5 所示位置安装，本系统中提供了 f200mm，f150mm，f100mm 三种规格的辅助成像镜，可供拆换对比。

黑白数字摄像机为用来最终接收显微图像并通过 USB 数据线连接电脑显示，相机最大分辨率为 1280x1024。数字相机通过前端的遮光连接筒安装至系统中，本系统中提供了 L80mm，L50mm，L37.5mm，L25mm 四种长度，各连接筒之间可以互相组合连接，从而改变相机与辅助成像镜之间的距离。

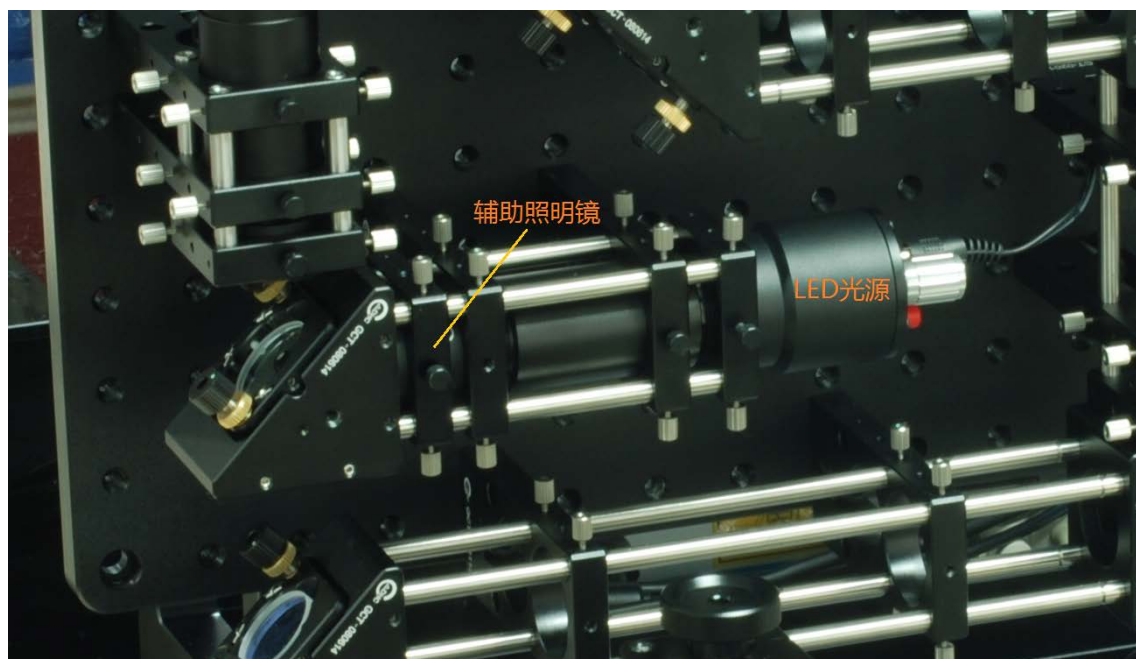


图 3-6 照明部分

如图 3-6 所示，照明光源采用单色 LED，DC12V 适配器供电，后端电位器调节工作电流，可以改变照明光强度，使相机得到合适明暗的图像。光源前端的辅助照明透镜为 f50mm，充分收集照明光，适当改变光源与该辅助镜的距离，可以使被照明的区域大小有所变化。

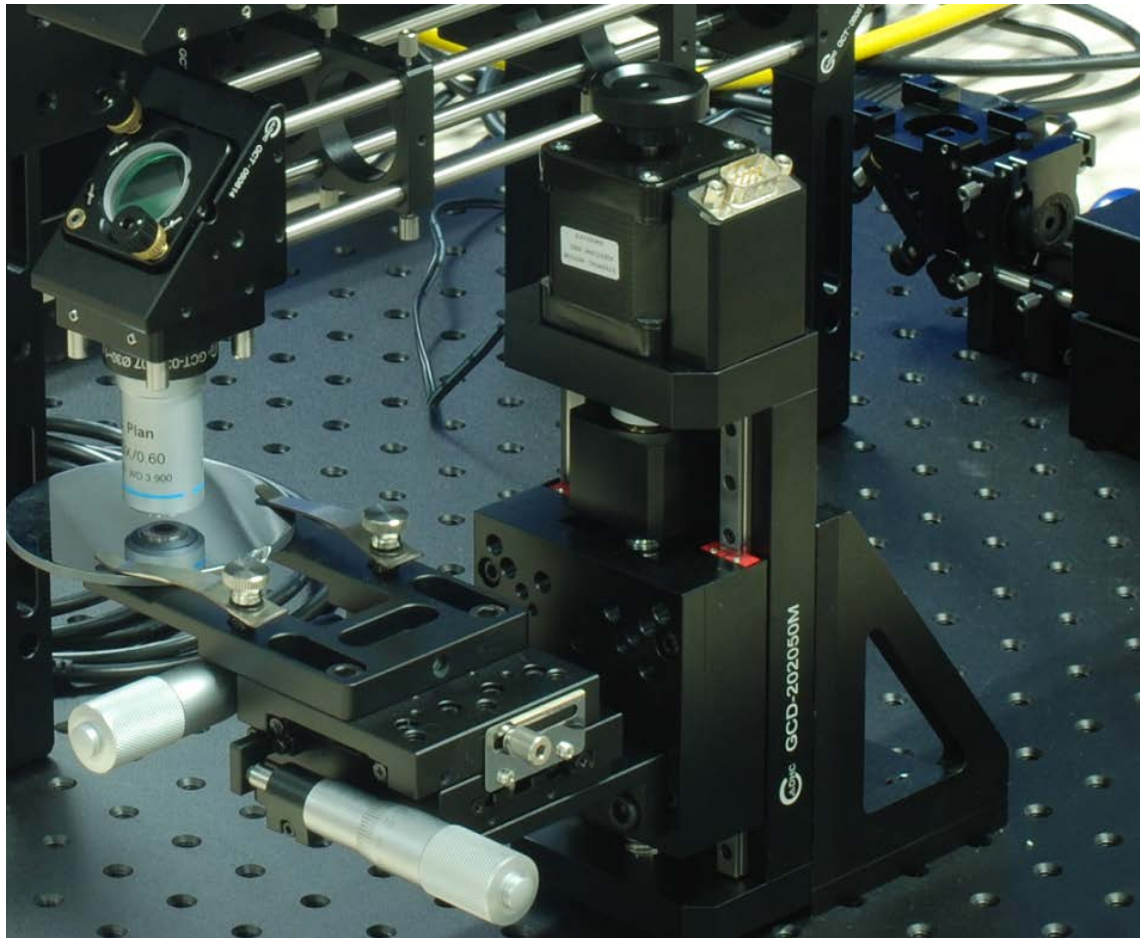


图 3-7 载物台部分

如图 3-7 所示，载物台由 XYZ 三维位移调节台构成，其中 Z 向可实现 50mm 移动行程，XY 向均可实现 25mm 移动行程。加工样品如抛光硅片，可通过载玻片加持架安装在载物台上，也可以将样品直接平放于载物台上。

激光微细加工电源控制部分是独立于光路部分的箱体，如图 3-1 所示。电源控制箱体内集成了 1 光纤调 Q 激光器主机，2 综合控制卡，3 主电源 三大部分，具体用电参数及连接示意如图 3-8 的功能框图所示。电源控制箱体内部的线缆均已安装连接完毕，无需操作。使用者需要了解并使用注意的是四条对外连接线缆，分别是 1 外接标准电源输入线，输入插座上方设有红色船型总开关，整个系统的开关机供电

均由此开关操作。2 振镜控制连接线，此线缆的输出公共端需要插接到光路系统的振镜外壳插座上，起到为振镜供电及信号控制输出的综合作用，首次安装时会接插到位。3 激光器输出光纤，此光纤为黄色保护套外观，一端为激光器主机，另一端是激光输出准直头，安装在光路系统的振镜下端，首次安装时会安装到位。4 USB 信号输入线，此线缆将控制软件安装的电脑与综合控制卡连接，首次安装时会安装到位。

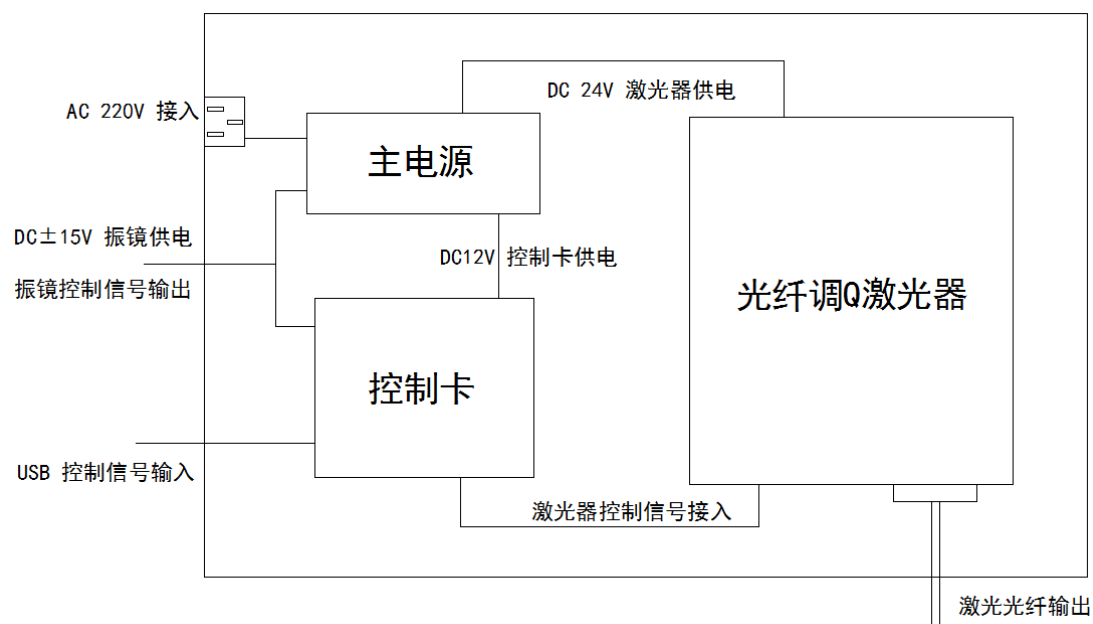


图 3-8 电源控制部分构成框图

## 4 实训内容与操作步骤

### 4-1 软硬件准备与检查

#### 4-1-1 数字相机的软件安装与连接测试

涉及到系统使用需要提前安装的软件共有两个，如图 4-1 所示，分别为数字相机的显示软件和加工系统（控制卡）的操作软件。

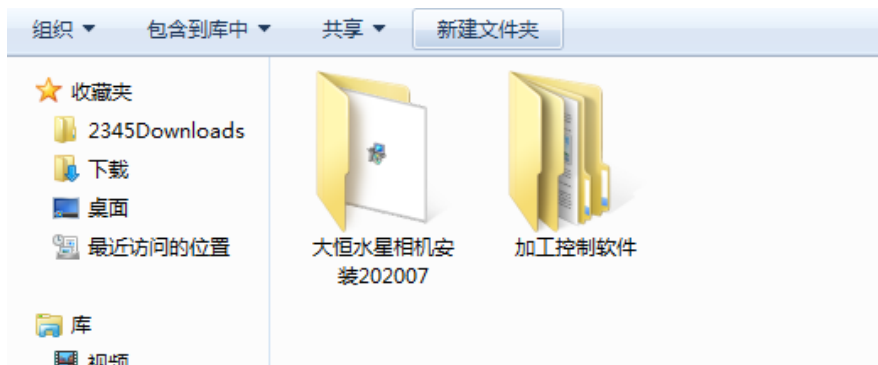


图 4-1 需安装的软件

数字相机的安装，直接双击文件夹中的可执行文件，系统将自动安装好所需要的驱动程序和显示软件，不需要使用者中间做选择，等待提示安装结束就可以了，如图 4-2 所示。

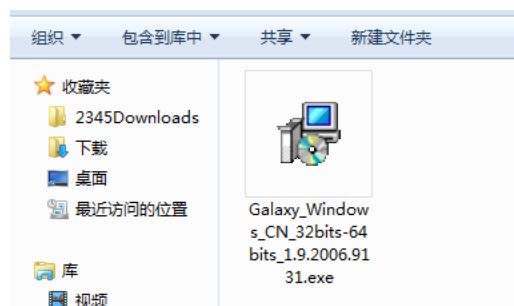


图 4-1 数字相机安装文件

安装结束后，再将相机的 USB 线插入电脑接口，电脑系统会识别匹配出大恒“水星”系列相机的具体型号，以供显示软件自动设置。运行桌面上或“开始”菜单内的相机显示软件快捷方式，如图 4-2 所示，可以打开相机显示软件的界面。

打开后的相机显示软件界面如图 4-3 所示，如果相机连接无误，界面左侧的“设备列表”中会显示出当前相机的型号，否则列表中不会显示。双击该相机型号，相机被激活，再单击界面左上方功能按钮中的“实时播放”键，即可实时显示相机采集到的图像，如图 4-4 所示。如需关闭相机，请反序上述操作。

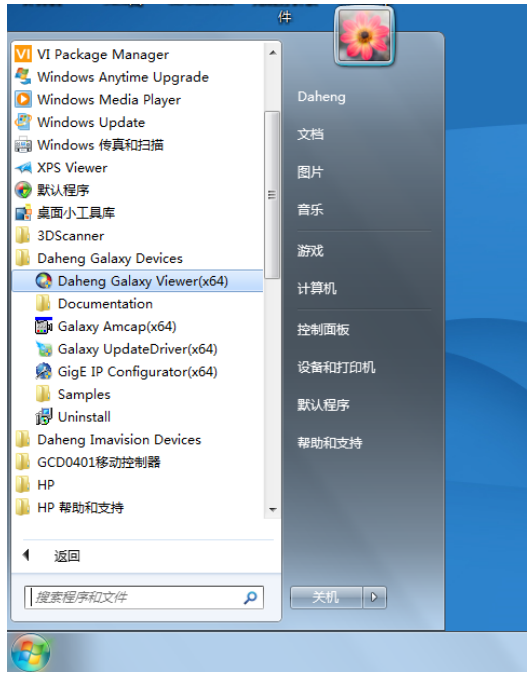


图 4-2 相机显示软件运行文件

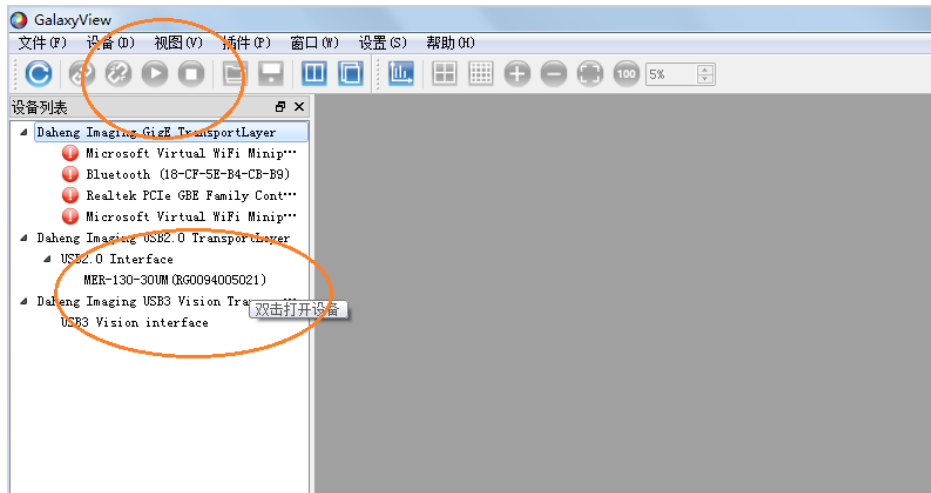


图 4-3 相机显示软件操作示意

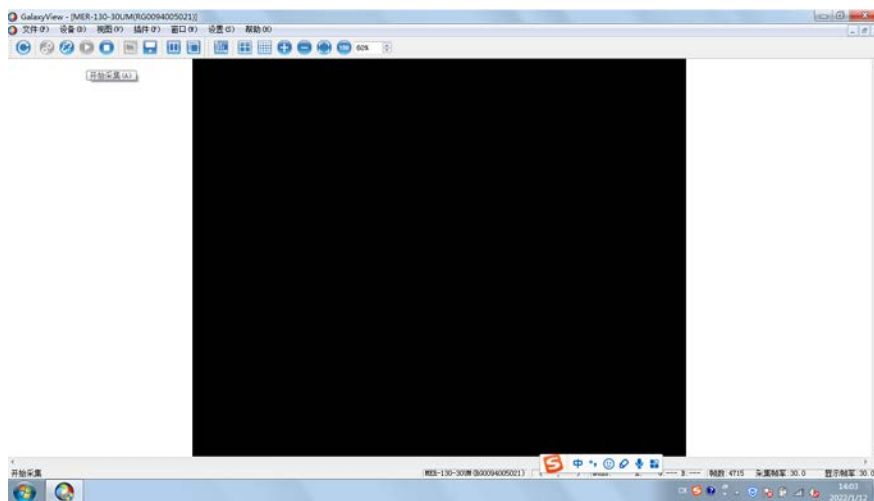


图 4-4 相机显示软件工作界面

#### 4-1-2 加工控制软件安装与连接测试

加工控制软件无需安装，直接在搜索安装控制卡驱动程序后即可运行使用。

将电源控制箱的 USB 线与电脑另一接口连接，接通电源开关，电脑会提示检测到新硬件并弹出安装驱动程序对话框。选择手动安装，设置安装目录为加工控制软件中的“驱动”文件夹，系统会根据实际接入的控制板卡搜索安装对应的驱动程序，无需使用者做选择。

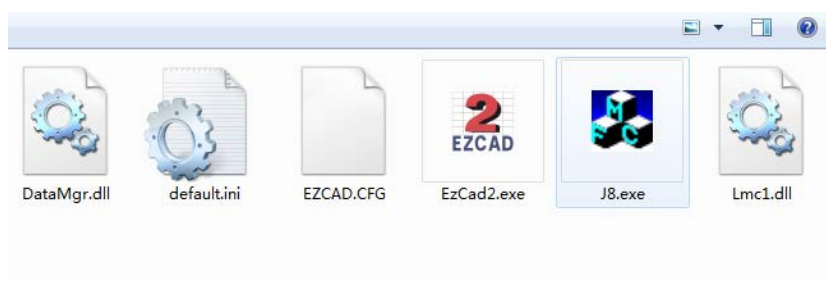


图 4-5 加工控制软件运行文件

驱动安装完成后，直接运行该控制软件中的“EzCard”可执行文件，如图 4-5 所示，即可打开加工控制软件界面。需要注意的是，每次运行该软件之前，先要接通硬件电源，否则系统会提示没有硬件，无法进行后续软件功能的操作。

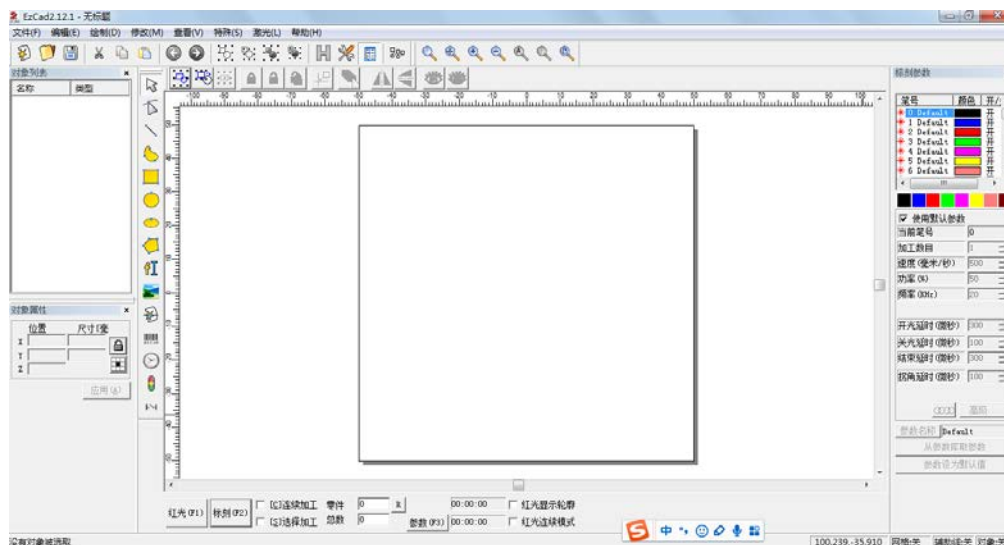


图 4-6 加工控制软件界面

激光加工控制软件打开后的界面如图 4-6 所示，后续的加工操作主要在该软件中实现。

如果上述两个软件安装及运行连接无异常，即完成了软硬件的准备及检查工作。

## 4-2 识别光路系统中的各个功能部件，学习理解其在系统中的作用

### 4-2-1 认识光纤激光器的输出端

光纤激光器输出端包含两部分，激光隔离器和输出准直镜，如图 3-3 所示。输出端的方形结构中为隔离器，只允许激光单向输出，防止返回光进入激光器造成工作不稳定。隔离器中包含了强磁铁，会吸引附近的铁质小零件，使用时要注意。输出端最前方的圆形镜筒为激光准直镜，使出射到空间当中的激光束为近似平行光，光斑直径约 7mm，激光出射后可用红外感光卡探测到。激光器输出端带蓝色塑料保护帽，系统关闭后装上以避免灰尘污损准直镜片。

### 4-2-2 认识二维扫描振镜

二维扫描振镜由旋转轴垂直分布的两片反射镜构成，控制信号同步实时控制两片反射镜的旋转状态。激光束从振镜的入射口进入，经两片反射镜后出射，出射光束在垂直中心光轴的截面上就可以运动出二维图形。振镜的出射口尺寸较大，外面的器件很容易碰撞到内部反射镜，关闭系统后请装回保护盖。

### 4-2-3 认识激光 4f 耦合镜组

如图 4-7 所示，激光束从振镜中出射后，沿红线方向多次反射传输，其中 L1 和 L2 指示了焦距为 300mm 的两片透镜所在位置。体会



一下 4f 系统指的从哪里到哪里，以及所其的作用。

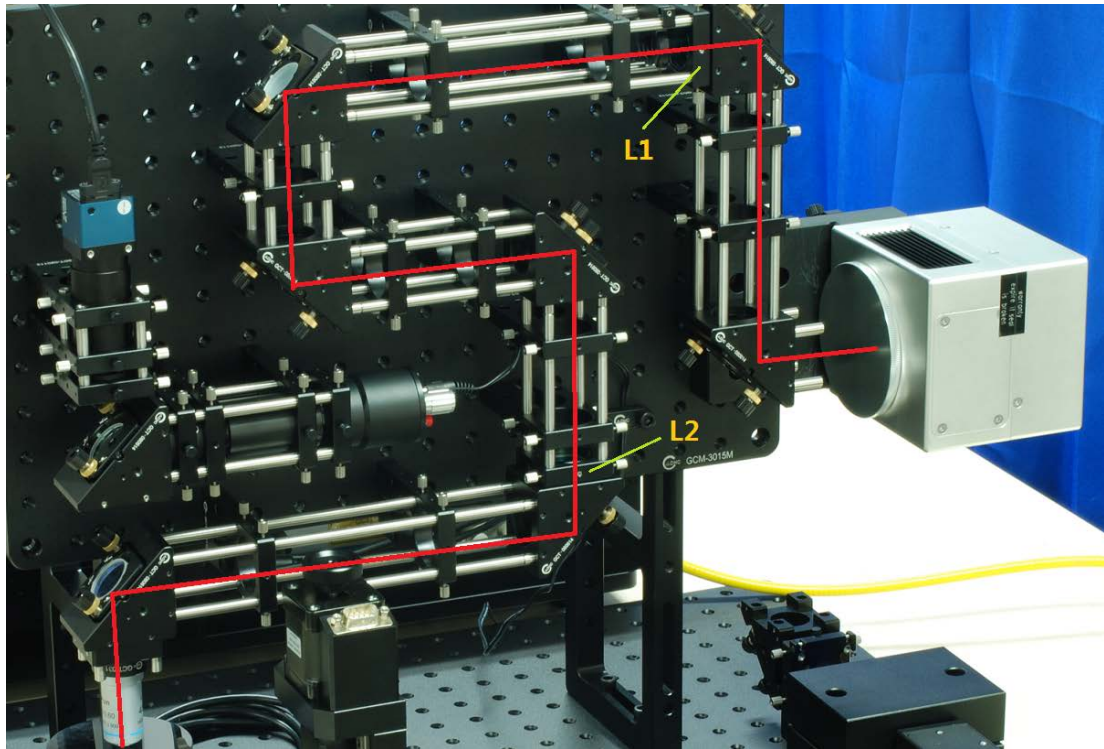


图 4-7 激光 4f 耦合传输示意

#### 4-2-4 认识照明模块

结合第 3 大部分中的功能介绍和图示，打开 LED 光源的开关，旋转电位器使照明光出射。观察下方的显微物镜出口是否有照明光透出，用白纸放在该处看一下照明光是否对称均匀分布，试着调一下反射照明光镜片的俯仰偏摆旋钮，观察照明光的分布是否有影响变化。

#### 4-2-5 认识显微成像模块

结合第 3 大部分中的功能介绍和图示，打开相机显示软件，将一片抛光硅片样品放置在样品架上，缓慢升降移动台 Z 向位置。升降过程中观察相机显示界面，并随时调整照明光的亮暗，找到硅片表面的清晰成像位置。XY 两个方向各自移动一下，观察像的移动方向是否一致，以判断相机的安装方向是否合适。

## 4-3 调试校准激光束耦合光路 ,学习操作在加工软件中激光设定功能

### 4-3-1 取下激光束光路保护器件

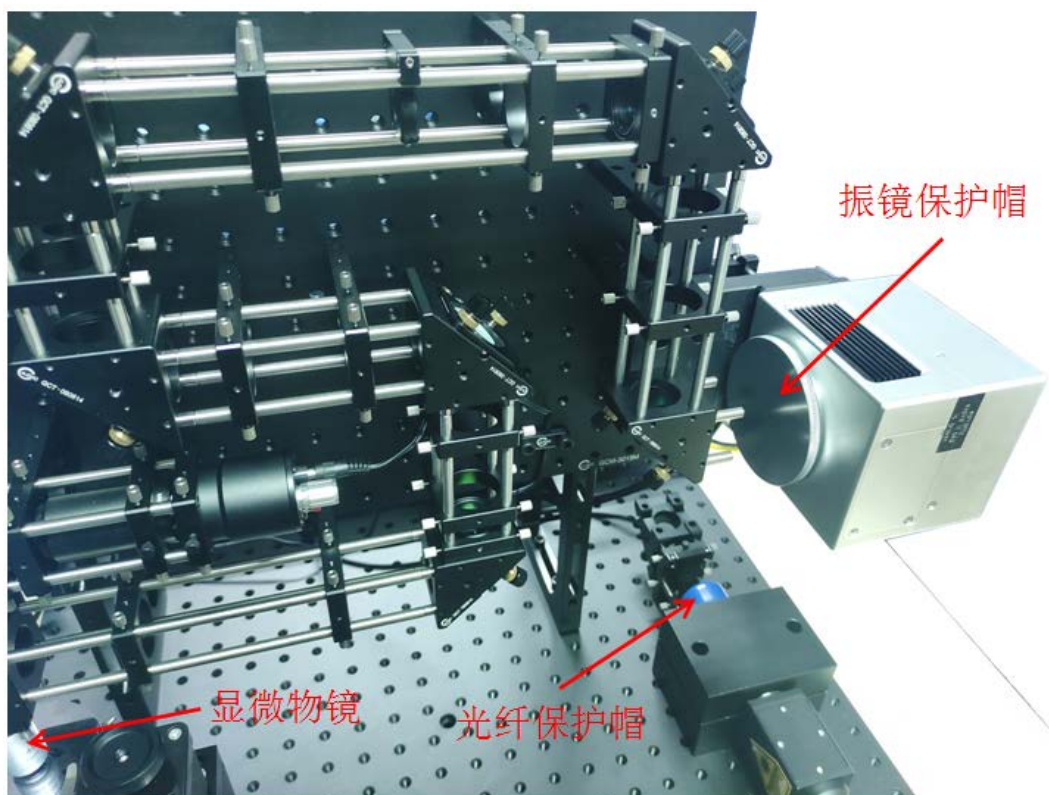


图 4-8 保护器件位置示意

如图 4-8 所示，准备开机使用激光之前，先将光纤输出镜保护帽和振镜保护盖取下，确认激光可以正常传输。显微物镜也先取下，待激光束方向完全校准后再装回。

### 4-3-2 激光器基本参数设置

打开电源控制箱开关，会听到其内部激光器主机风扇工作的气流声，此时激光器待机，振镜静止到基准位置。将 USB 数据线连接至电脑，运行控制软件。主界面下方点击 参数→激光控制→点选 Fiber→输入最大 PWM 信号 80KHz→输入最小 PWM 信号 20KHz→点击 确认，如图 4-9 所示。此处设定了光纤激光器工作的最大和最小重复频率。

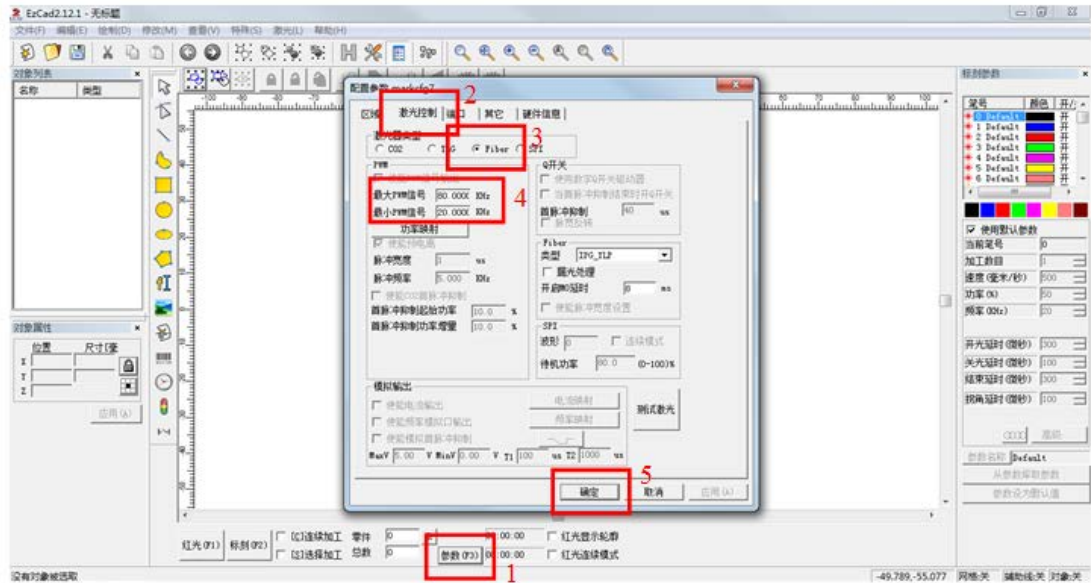


图 4-9 激光器基本参数设置

### 4-3-3 激光器长出光状态

在校准激光光路时，需要使激光器处于长出光状态，设置操作如下。主界面下方点击 参数→激光控制→测试激光→输入频率 40000Hz→输入功率 50%→脉冲宽度 10μs→激光开启时间 100000ms（如时间过长软件会报错死机）→点击 确认，如图 4-10 所示：

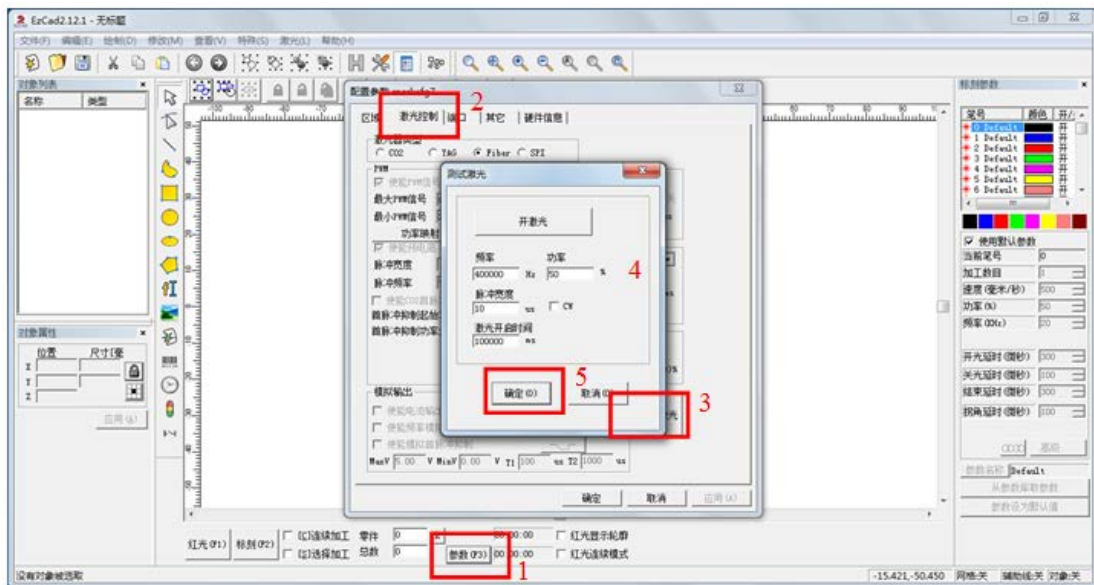


图 4-10 激光器长出光设置 1

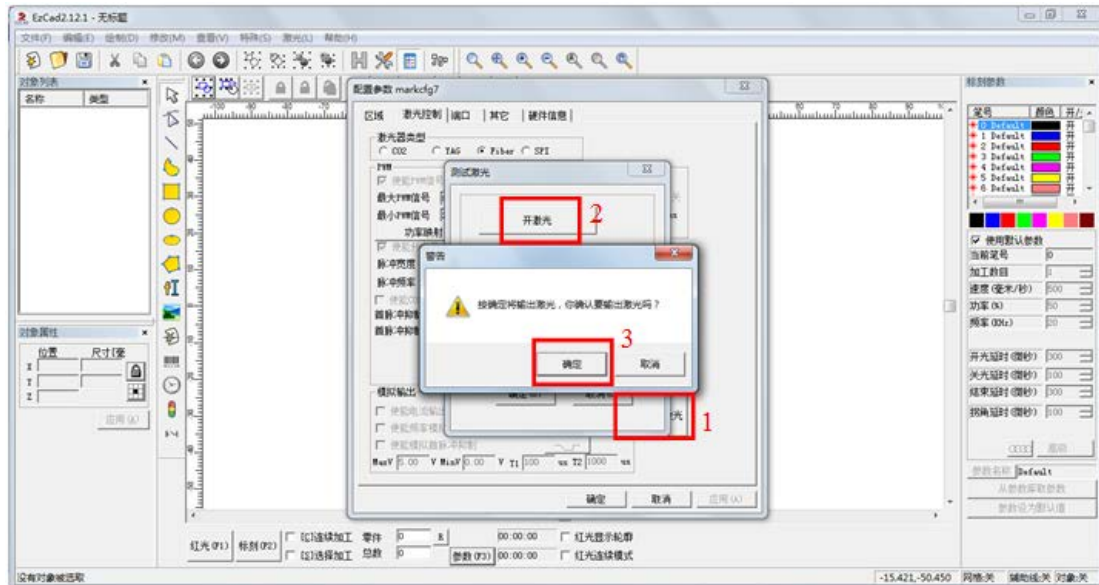


图 4-11 激光器长出光设置 2

再次点击 测试激光→开激光→确认，如图 4-11 所示，此时激光器会在上面设定的时长下以相应参数连续出光，使用红外感光卡或者手机照相功能（需无红外滤镜的手机）可观察到激光出射。设定时间到了后，激光自动关闭，再次按照上述操作激光重新开启。如需停止激光出射，请点击 关激光。

#### 4-3-4 利用测试长出激光进行光路校准\*\*\*

光路校准按照从头至尾的顺序一步一步进行，此操作非常重要。

1 调整激光输出镜安装压块的角度，使输出光斑对准光路系统中心（前方小孔光阑的中心），光阑打开约 5-6mm 限制初始光斑直径，使之小于最后显微物镜的入光孔直径，如图 4-12 所示。

2 通过另一片测试光阑依次放置在光路中不同位置，调整对应激光 4f 耦合传输中九片反射镜的角度，使得激光束始终与笼式结构居中同心。光阑放置于调整对应编号的反射镜（例如光阑位于位置 1 时，调节反射镜 1）使得光斑与光阑小孔同心及认为该反射镜校正完成，光

阑位置与反射镜编号如图 4-13，4-14 所示

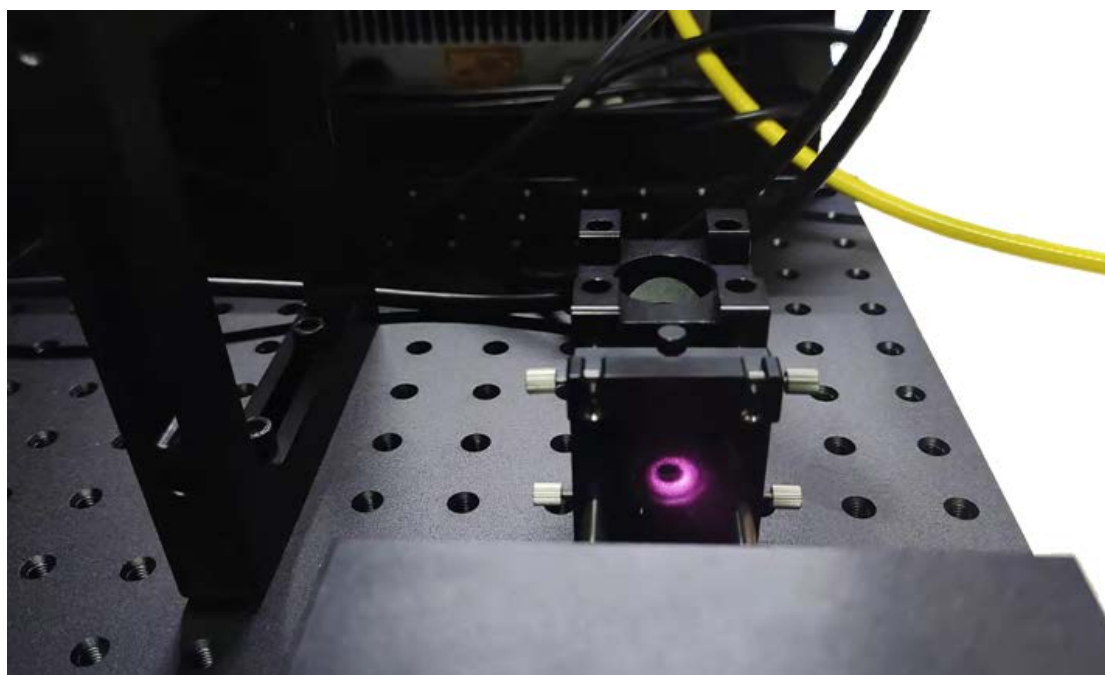


图 4-12 激光光路校准 (1)

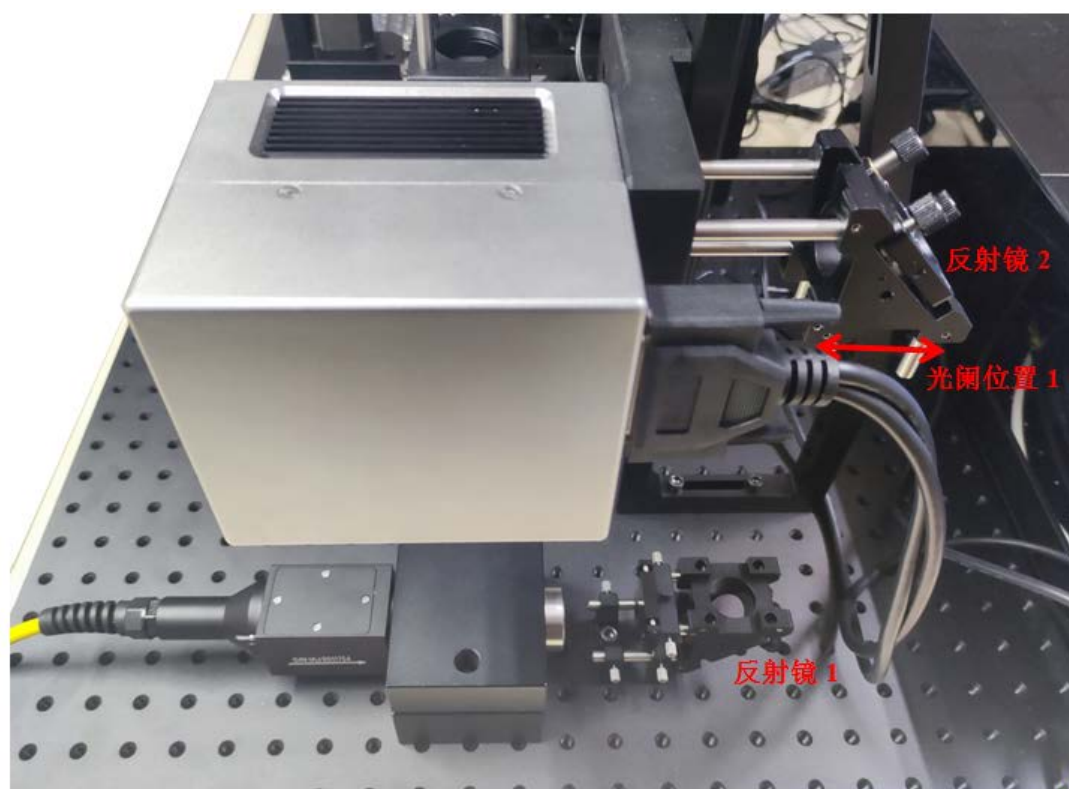


图 4-13 激光光路校准 (2)

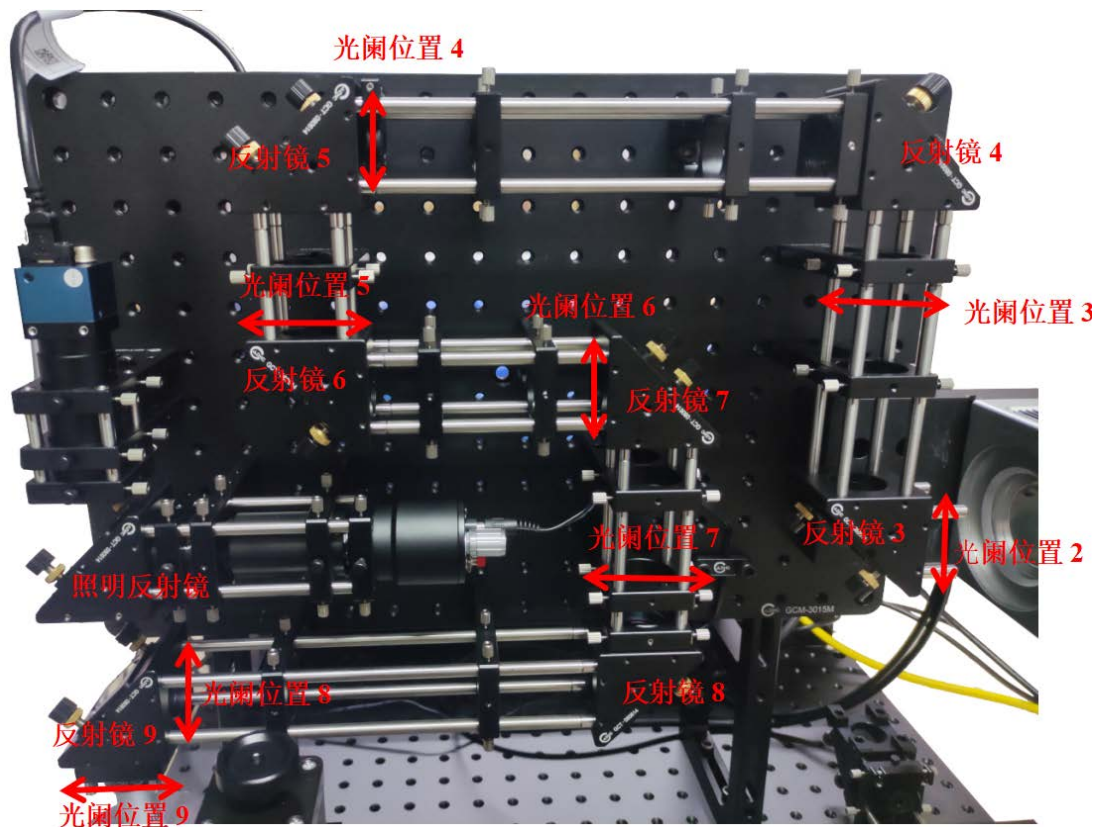


图 4-14 激光光路校准 (3)

3 当九片激光反射镜依次校准调节完毕，关闭激光，装回最后聚焦用的显微物镜。再次打开同轴照明光源和显微成像模块，升降载物台，观察到清晰的抛光硅片表面。

激光光路初步校准调节完毕。

#### 4-4 精确定位激光加工面的 Z 向位置，匹配显微成像模块

在加工软件做图区简单画一个圆，设置属性尺寸 3\*3，中心位置 (0,0) 点击 应用 → 取消勾选 使用默认参数 → 手动设置加工参数 (加工数目 1、速度 10 毫米/s、功率 10%、频率 30KHz) → 勾选 连续加工 (以上步骤如图 4-15) → 去掉测试光阑 (第二片校准用的小孔光阑)，并确保光路中无其他遮挡物 → 点击 标刻。此时激光持续出射，会聚的激光束在振镜的运动控制下，在加工物表面“连续画圆”，如果留下了刻痕，就会通过显微成像模块实时观察到。

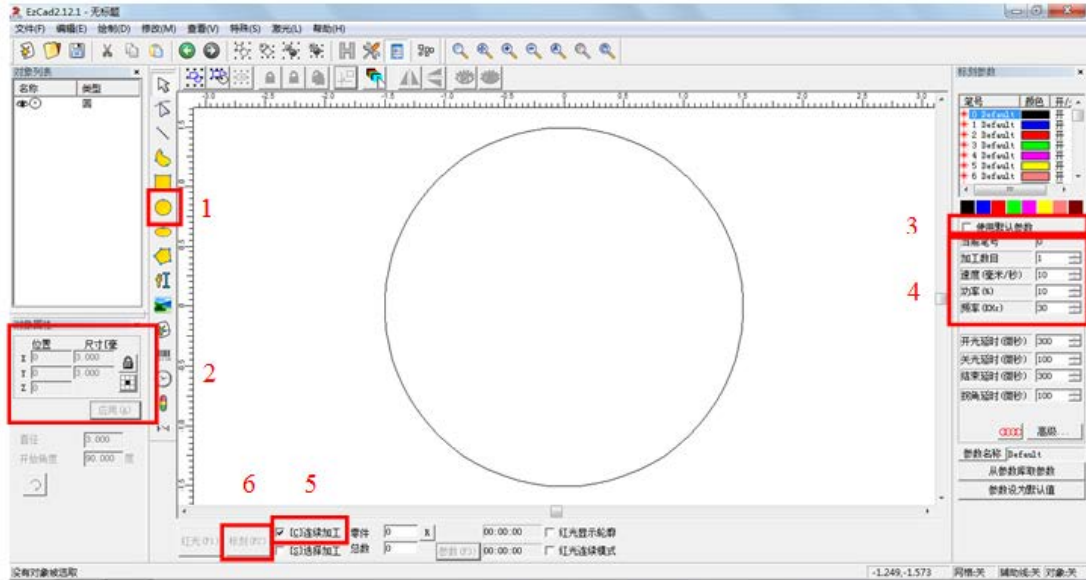


图 4-15 激光加工做图及激光设置

如果没有加工出刻痕，或者刻痕断续不完整，可能是两方面原因造成，1 激光束未在当前表面会聚（主要原因），2 激光功率太低。可增大一点激光功率（如从 10%变为 20%），再调节载物台 Z 轴旋钮，些许改变一些加工表面的高度位置，升降随机，直至有“明显更重”的刻痕出现。

此时由于加工表面离焦了原显微成像物面，成像会随之变虚，调节固定相机的遮光连接筒，改变相机靶面与辅助成像透镜的间距，使加工面重新与成像物面重合，图像再次变清晰。

按照上述方法继续优化，逐渐降低一些激光功率，使用相对最低的功率仍然可以刻划出完整图形的 Z 向位置，就是最佳聚焦加工面，相机调整至此面能成像清晰，整个显微成像模块固定不再变动。

#### 4-5 标定当前显微成像模块

通过前面对最佳加工面及显微成像模块共面的校准，使显微成像模块可以固定下来（物镜、辅助成像镜、相机靶面三者之间不再相互

改变位置), 成为后面微加工过程中的一个重要工具。在加工过程中即要用它监控加工效果, 还要对加工目标进行定位和尺寸测量, 这就需要当前的显微成像模块进行标定。

标定的过程其实就是用已知来明确未知, 需要借助的工具就是分辨率板, 如图 4-16 所示

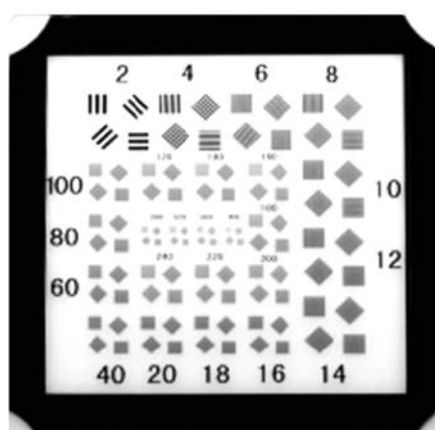


图 4-16 分辨率板

将分辨率板放置在加工面位置, 有图案的表面向上。调节载物台的三维方向, 使分辨率板当中的合适线对图案清晰成像在视野中, 如图 4-17 所示

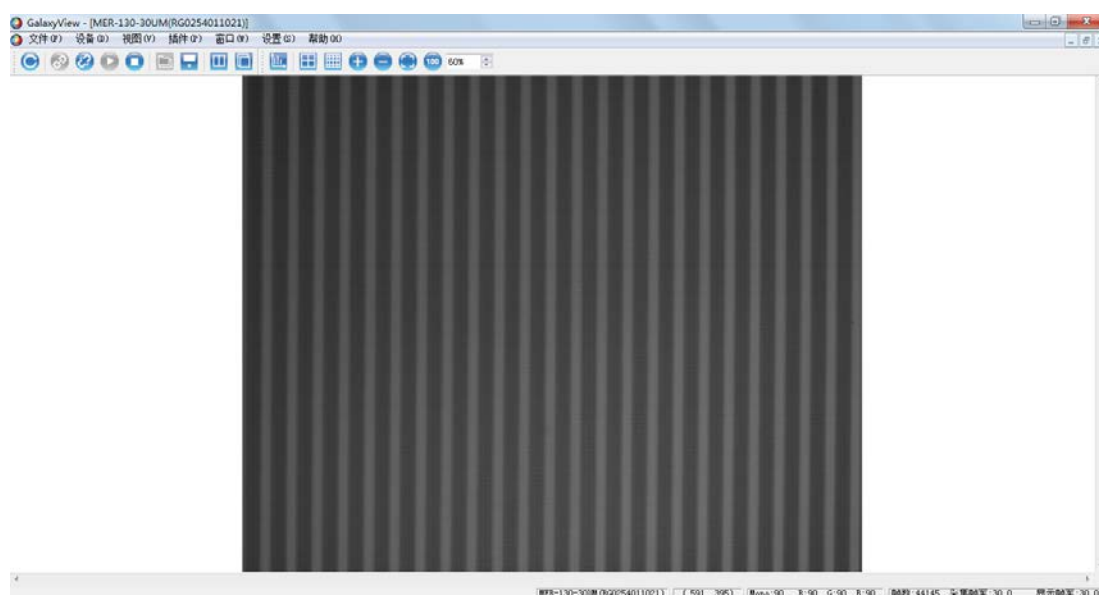


图 4-17 分辨率版成像



分辨率板图像对应的数字表征了线条图案的空间频率，如“200”，就是每毫米可以容纳的“黑条”或“白条”的数量是 200 个，那单个“黑条”或“白条”的宽度就是 5um。由于每次成像的照明亮度会比较主观随意，容易造成黑白条形图案的宽度随机不对等，所以在标定过程中采用“黑+白”一组周期图案的宽度为计量单位，即 5+5=10um。

将鼠标放在视野左侧的某一个周期图案开始的位置，读取此处像素 X 坐标 1，鼠标向右数 10 组周期图案，读取放置位置处的像素 X 坐标 2，相减获取坐标差数。10 组周期图案的宽度为 100um，除以刚获取的 X 坐标差数，即得到了当前放大成像中，每个像素的真实距离，如此就可以得到未来画面中任意位置的间距。标定完毕，后面的操作过程中，只要显微模块内部发生了变化，都需要重新来标定。

#### 4-6 学习操作在加工软件中绘制图形的基本功能

加工软件除了对系统硬件的控制外，另一个主要功能就是绘制或调取加工目标图形。简单图形如“线段”、“圆形”、“方形”、“椭圆”、“多边形”等，直接在软件中点选即可，然后对其赋值尺寸和位置参数即可。需要注意的是，软件当中的尺寸信息，虽然会有“毫米”单位，但不具备绝对尺寸意义，只可以相对参考。下面再介绍几项常用功能

##### 1 文本输入

点击 绘制文字→在画布上选择区域→输入 文本内容→选择单线字体→选择 合适字体→点击 保存→输入 合适尺寸→输入 原点左边→点击 应用→如果字体有重叠可适当调整字间距类型及尺寸并点击

保存，如图 4-18 所示：

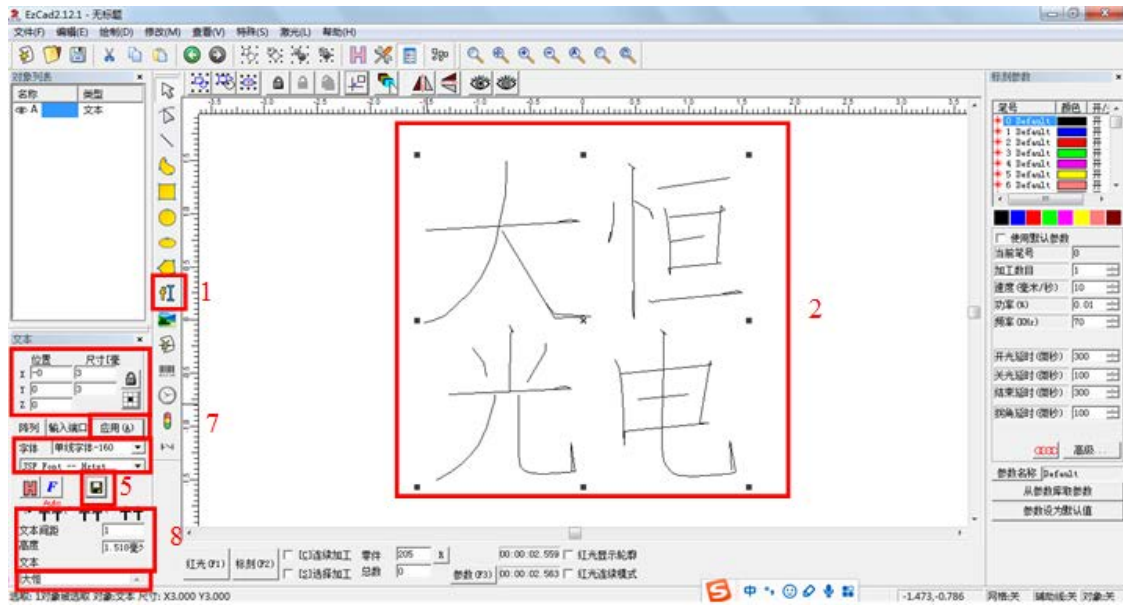


图 4-18 文字绘制

## 2 导入做好的矢量图片

因为激光加工原理是刻蚀图案中所有存在像素位置，所以可加工的图样应为矢量图案，如图 4-19 所示：

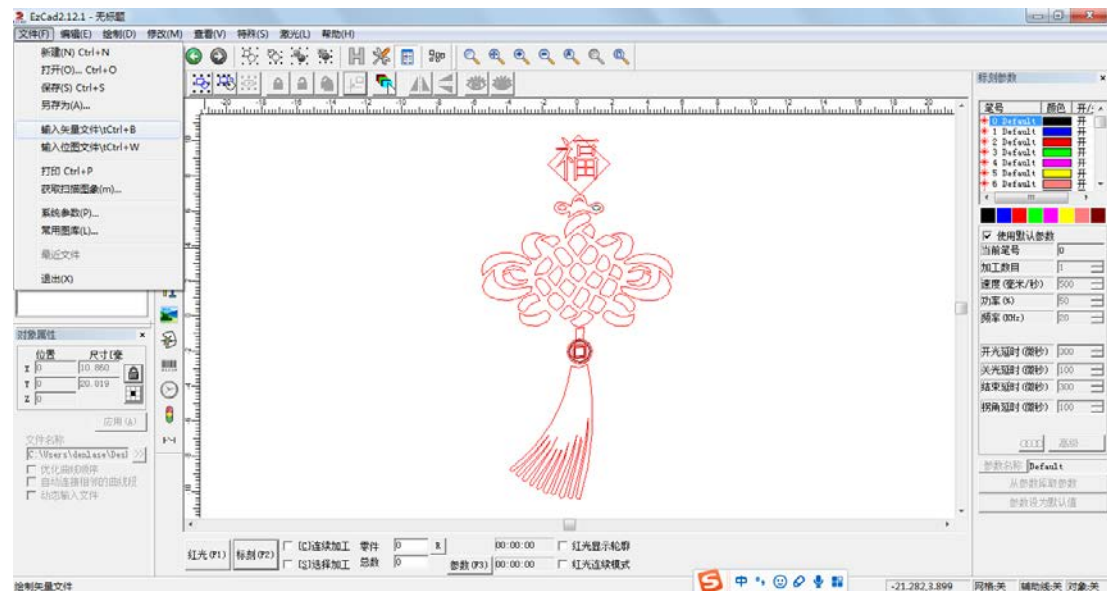


图 4-19 矢量图片导入

## 3 图案内部填充

点击填充→选择填充样式→选择填充尺寸及笔号→点击确认，如图

4-20 所示：

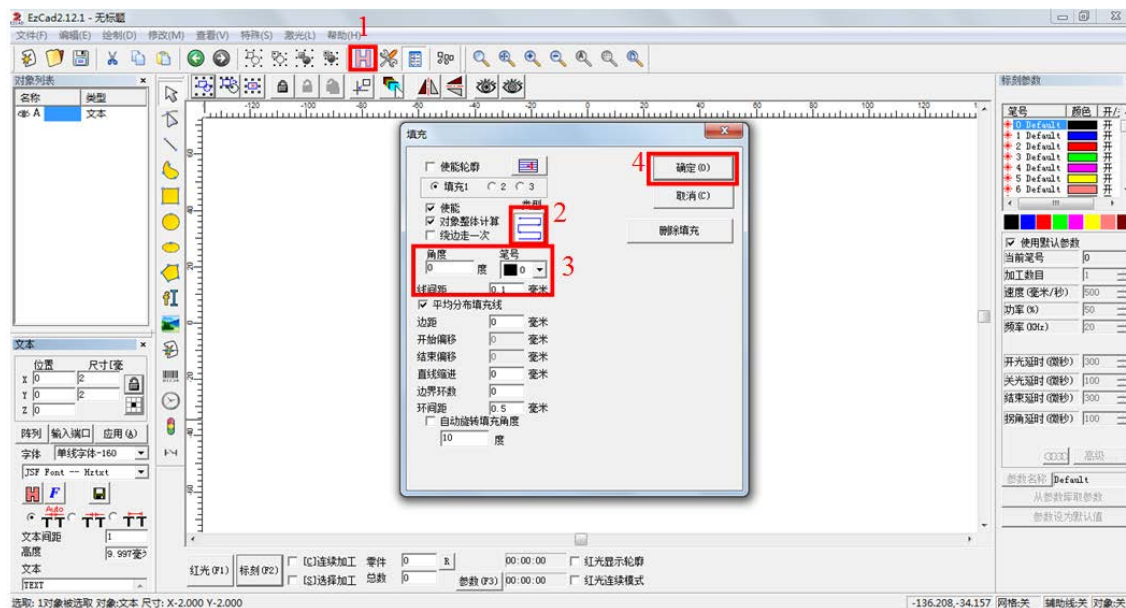


图 4-20 图样填充

4 如果在视场中观察到打标图案有颠倒情况：点击参数→区域→勾选相应方向的振镜反向→点击确认，如图 4-21 所示：

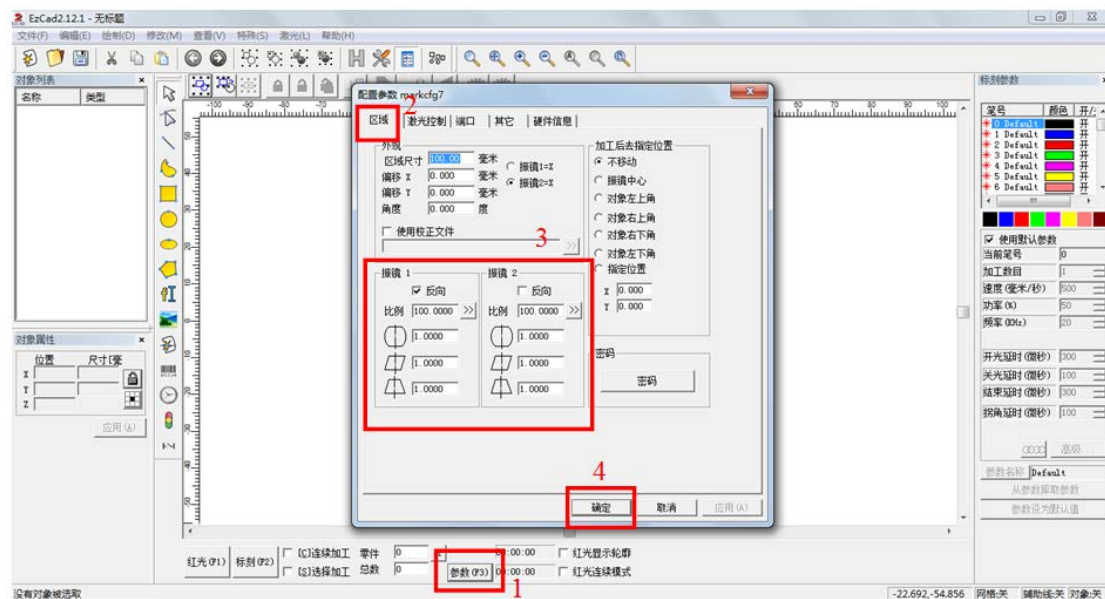


图 4-21 振镜反向调整

加工软件的完整使用介绍，请查阅附件里单独的 PDF 文件。

#### 4-7 标定当前加工系统的微缩系数并验证

如前面所介绍，加工软件并不能直接给出当下微加工系统刻划图

形的尺寸，只能给出相对关系，因此在加工系统全部调教完毕后，需要标定验证微缩比例，建立软件上尺寸与实际加工图形的关系。

方法很简单，通过加工软件，绘制一条“10mm”的线段，加工完成后，通过显微成像模块测量实际刻痕的长度  $L$ ，用 10mm 除以  $L$  的长度  $\mu\text{m}$  数，得到了想要加工的微小图形尺寸与软件输入的尺寸的比例系数。

在标刻激光束所经过的光路系统（4f 耦合与聚焦物镜）部分没有变化调整时，上面得到的微缩加工比例系数一直有效。

#### 4-8 在抛光硅片表面进行精确定位的微图形雕刻加工验证

完成了前面各项校准及标定准备工作，也理解了实现激光微细加工的关键因素，下面就可以按照自己的想法，构思，绘图，实现想要加工的效果。

如果对加工图形有精确定位要求，依然需要借助显微成像模块来指引。举例，需要在加工面上标刻奥运五环图案：

方法 1，直接在加工软件中绘制出五环图形。

方法 2，如果要绘制的五环图形相对较大，整体超出了当前微细加工的幅面，就可以通过单一圆环依次加工的形式实现。在软件中只绘制预期的单一圆环，通过显微成像模块的配合，操作载物台的 XY 轴位移，依次将加工幅面的中心对正每一个环的圆心，这样逐一刻划出来。

加工过程中遇到的问题，试着分析与解决。

#### 4-9 更换聚焦物镜，总结加工参数的相应变化

聚焦物镜是微细加工光路系统中最核心的器件，最直接决定了“笔尖”的大小，从而影响未来可加工图案的微细程度。其次显微成像模块的放大率参数和加工微缩比例均会随之发生改变。

试着更换一下另外配套的 10X 显微物镜。看一下最佳加工面是否发生变化，如果有变化需要重新校准。显微成像模块的放大参数发生了什么变化，重新用分辨率板标定一下，得出相应结论。激光加工微缩的比例发生了什么变化，重新标定一下，得出相应结论。

#### 4-10 分析激光加工参数设置以及聚焦物镜参数选择对加工效果的影响，做出最优系统匹配评估

分析了最核心的聚焦镜参数对微细加工的作用及影响，还需要结合激光加工的参数来综合匹配。激光加工参数主要包含为：激光功率强度，激光重复频率，激光加工速度（振镜偏摆运动速度）三大项。

激光功率强度很直观，决定了“下笔的轻重”，会对标刻的深度，笔画的宽度，附加热影响范围产生重要影响。

激光加工速度，直接决定了完成一幅作品所需的时间，间接决定了激光在加工物表面停留作用的时间，也就是在同一区域激光能量累计注入的程度，与本身激光的功率强度影响类似。

激光重复频率，是每一个激光脉冲到达加工物的间隔程度，往往需要与前两个参数匹配考虑。如果重频设置较低，加工速度确很快，极端情况下可能标刻出离散的加工点分布。如果重频设置较高，加工速度很慢，综合效果接近于增大了激光的功率强度。

激光聚焦镜的参数选择以及激光加工参数的选择都是由加工目标



图 4-22 振镜标刻基准位置调整

## 5 紧急情况处理及日常维护

在标刻过程中，如果发生激光器工作异常或是振镜运动控制异常，首先选择操作软件中的“停止加工”按键，再返回逐步检查异常原因，如果是软件已经“死机”或无法操作，请立即关闭控制箱电源开关，重启控制软件甚至电脑主机。

光路系统中的光学元件需要日常清洁维护，激光器准直输出端和扫描振镜的出射端设有保护盖，系统使用完毕后请装回，以保护内部的光学元件表面。如系统长时间未使用，再次使用前请先检查各个光学元件表面，是否有明显污损或者灰尘，请先处理清洁，再开机使用。

红外激光不可见，但仍然可能对人眼等身体器官造成损害，请使用时注意激光安全，建议操作者全程佩戴激光护目镜。

## 6 联系方式

大恒新纪元科技股份有限公司

电话：                  (010) 82782668

传真：                  (010) 82782669

地址：                  北京市海淀区上地信息路甲九号（奎科大厦）  
                          三号楼二层

Email: [cdhcedu@cdhcorp.com.cn](mailto:cdhcedu@cdhcorp.com.cn)

http: [www.cdhcedu.com](http://www.cdhcedu.com)