



## EIProScan 扫描电化学显微镜

### ELP 1 EIProscan

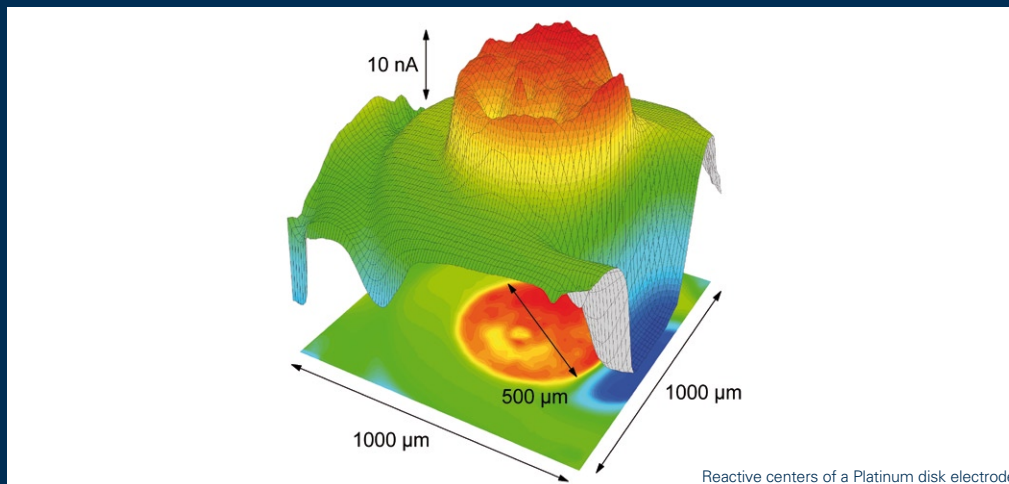
用于测量不透明的样品

### ELP 2 EIProscan

配备倒置显微镜，可以测试  
“透明”和“非透明”样品

### ELP 3 EIProscan

配备倒置显微镜，可以测试  
“透明”和“非透明”样品



如果您希望研究工作具有  
创新性，请关注ELP\_3...

#### 硬件特性

- 高精度定位系统具有全部坐标轴闭环控制和Z轴压电闭环控制
- 实时编码器对X, Y, Z坐标定位控制
- 所有的定位系统部件全部由计算机控制
- 简便自动标定定位系统和双恒电位仪
- 集成剪切力控制模块用于等间距测量模式
- Z轴单独固定避免与XY轴的横向干扰

#### 扫描特性

- 2D扫描：(X, Y, Z)方向自动斜率补偿的线性扫描
- 3D扫描：在(X, Y)平面上进行扫描
- 3D阵列扫描：平面扫描同时具有电化学测量自由编程功能
- 使用SFU3剪切力装置实现等间距表面扫描
- 针尖下移：自动逼近样品表面
- 模板扫描：按照自定义图形进行扫描(CAD生成图形)
- 斜率补偿适用于所有的扫描模式

#### 应用

- 表面分析
  - 局部腐蚀过程观测
  - 催化材料和电化学传感器表面活性成像
  - 局部阻抗分析
  - 局部pH值梯度变化作图
  - 生物膜酶活性作图
  - 胞吐成像
- 表面结构
  - 微纳米尺度的金属颗粒沉积(恒电流或无电沉积)
  - 在水或有机溶液中材料表面上导电聚合物局部沉积
  - 电化学刻蚀

# HEKA

HEKA provides the finest instruments today  
to achieve the needed progress of tomorrow...



## 简介

HEKA EIProscan是一台扫描电化学显微镜，用于研究样品的电化学活性表面。它属于扫描探针显微镜（AFM, STM, SECM）家族的一员。由德国弗莱堡Albert-Ludwig大学材料研究中心的Dr. Jurgen Heinze（教授）合作开发了EIProscan仪器。2005年HEKA公司创立了EIProscan品牌，它包括传统的SECM实验方法及扩展功能。整个系统包括三个主要部分，定位系统，双恒电位仪，数据采集系统。

定位系统控制微电极在溶液中电化学活性样品表面上进行三维扫描，因此EIProscan可用作传统的SECM仪器并且具有更多的功能。EIProscan与传统的SECM不同之处在于它不仅记录针尖的电流信号，而且在针尖上可实现任何电化学实验方法的应用（用可编程脉冲发生协议Programmable Pulse Protocol来完成）。在脉冲发生协议运行过程中，在样品上应用独立的电化学实验方法并同时在针尖上应用不同的方法。因此EIProscan还具有电化学活性表面修饰的功能。

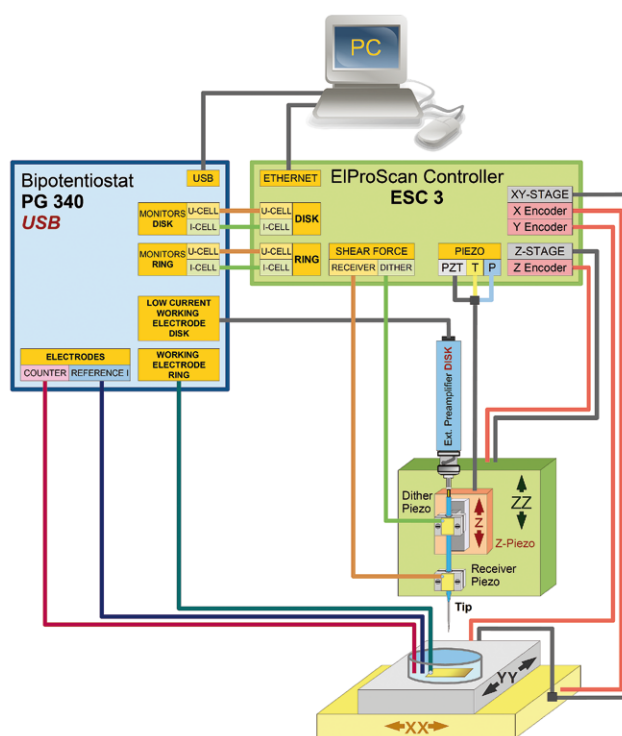
EIProscan系统设计具有多种应用领域的、多用途的特点，如：表面分析功能、金属沉积、导电聚合物沉积、酶活性成像、催化材料表面活性等仅仅是其中的少数应用。EIProscan是一套集成系统，可用一个软件程序实现所有功能的控制运行，而且还包括科学研究等级的硬件使仪器功能最佳化。EIProscan系统是唯一、可测量从超微电流到2A电流范围的电化学仪器，它还可以用作双恒电位仪/电流仪，使其具有多种电化学应用。微电流前置放大器可以在pA级的范围内实现高精度、低噪声的测量。

HEKA EIProscan系统具有多种独特的性能：

1. 闭环控制用于所有的坐标轴(X,Y,Z)和Z轴压电驱动。
2. 定位系统和双恒电位仪都可以非常方便的实现自动校准。
3. 超微电流测量的低噪声小于1pA。
4. 集成计算机实时系统以实现真实的等速扫描和实时斜率补偿。
5. 实时控制的等间距扫描具有全部集成在一起的剪切力装置
6. 3D阵列扫描具有电化学技术自由可编程功能。
7. 模板扫描在自定义的平面结构上进行。

## 工作原理

### 典型的实验配置

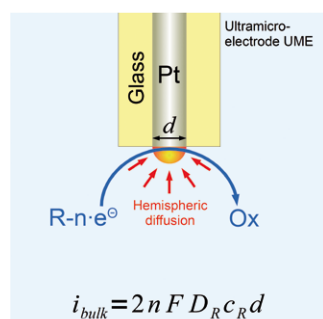


定位系统包含3个直流伺服马达（XX,YY,ZZ）和1个Z轴转换移动压电马达，所有坐标均是闭环控制。定位系统控制微电极（针尖：用作工作电极）在样品表面上移动，样品用作双恒电位仪的第二工作电极，在针尖和样品上可施加不同的电化学方法，同时记录针尖和样品上的电压和电流信号，可运行多种类型的实验：产生-收集模式，反馈模式或直接模式。1个共用对电极和1个共用参比电极作为传统三电极电化学测量池配置，针尖和样品在电化学池中相对于参比电极的电压始终保持设定的数值。

## 工作原理

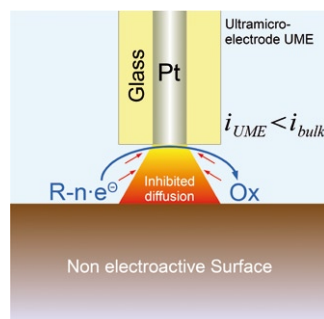
## EIProscan反馈模式

整体溶液中半球形扩散



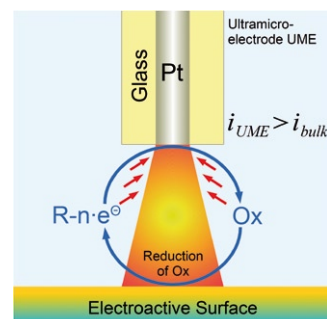
超微电极(UME)在溶液中接近样品表面上方扫描,在电极表面由于氧化还原反应所溶解的物质形成法拉第电流,当UME电极远离样品表面,电流是由半球形扩散区域的氧化还原活性物质从整体溶液向UME电极表面扩散所产生的电流。

负反馈



随着针尖向样品表面逼近,可测量出电流的变化。电化学惰性表面抑制针尖表面的氧化还原物质扩散并导致针尖电流逐渐减小(负反馈电流检测)。

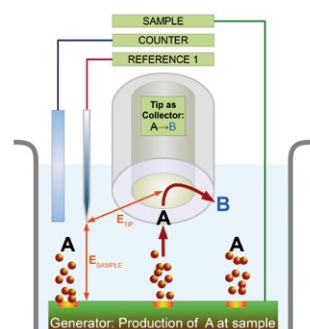
正反馈



当样品是电化学活性表面,针尖电流逐渐增大。这是因为在样品表面再生了反应后的氧化还原物质,并在针尖再次进行反应(正反馈)。

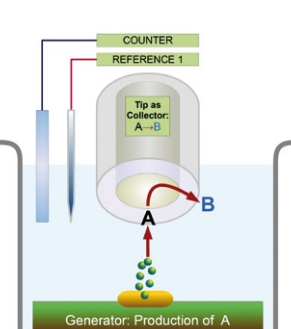
## EIProscan产生-收集模式和直接模式

产生-收集模式在样品上施加电位



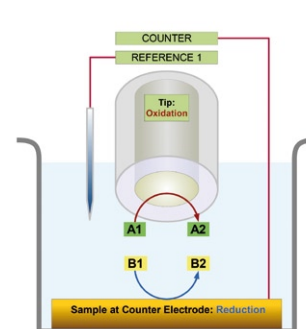
由双恒电位仪在样品上保持相对于参比电极恒定的电位( $E_{sample}$ ),样品电位加强了电化学反应使其产生物质A,所以样品作为产生物质A电极;针尖同时保持不同的电位( $E_{tip}$ )使物质A还原,所以针尖作为收集物质A电极。

产生-收集模式在样品上不施加电位



样品不受双恒电位仪控制,样品电位没有设定且浮置。样品表面局部产生化学反应且产生物质A,或者从活性细胞、活性酶释放物质A。针尖保持电位( $E_{tip}$ )使物质A氧化或还原。

直接模式



样品与对电极连接,使整个样品电活性表面产生相反的过程,当在针尖上发生阳极过程,样品上必发生阴极过程。在特殊条件下, $A_2=B_1$ 且 $B_2=A_1$ 。

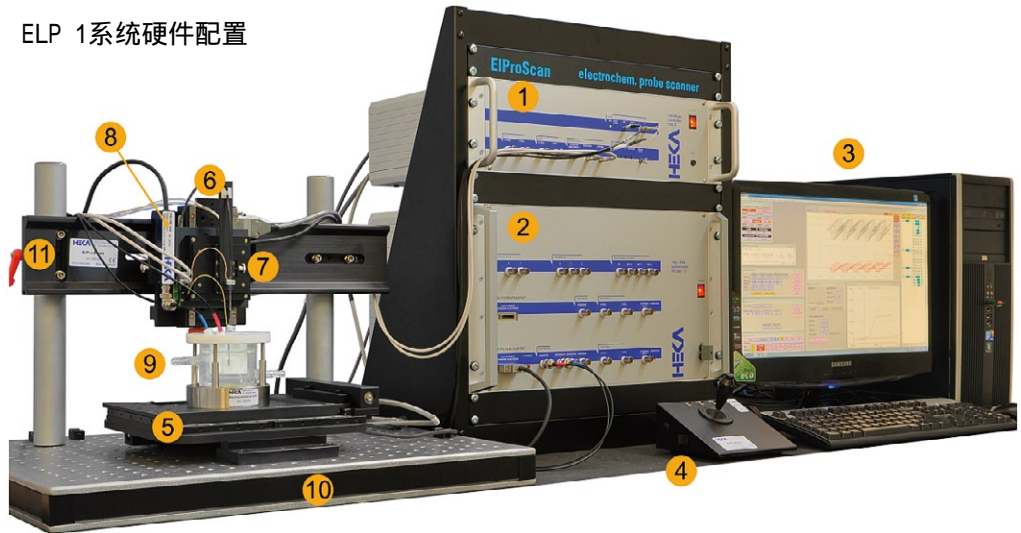


### ELP1 系统

#### ELP 1--多功能系统用于测量不透明的样品

EIProscan ELP\_1系统是测量不透明样品的理想平台。典型应用有：腐蚀研究，局部电化学刻蚀，对催化样品或电极材料的表面进行一般的电化学分析。对于特殊环境条件下的应用，如锂离子电池实验环境，定位系统可以安装在手套箱内。ELP\_1高精度定位系统可配置剪切力装置控制针尖自动逼近样品表面而不用在测量池内放置氧化还原媒介，实现针尖在样品表面等间距扫描。在XY定位桌面上的可移动平板上，可安装各种电化学测量池。在防震台的桌面上可安装定位系统以及法拉第笼。

#### ELP 1系统硬件配置



ELP1 系统具有剪切力装置

- ① EIProscan控制器ESC\_3
- ② 双恒电位仪/电流仪PG340\_USB
- ③ 主计算机和宽屏幕彩色显示器
- ④ 可选配操纵杆控制XYZ三轴定位系统运行
- ⑤ 基于编码器闭环控制XY桌面定位平台，使用直流伺服马达。  
在针尖扫描过程中，整个电化学池被定位系统移动而同时Z轴被固定在可拆卸的装置上。
- ⑥ 基于编码器闭环控制Z轴的部件，使用直流伺服马达。
- ⑦ Z轴压电马达安装在Z轴步进马达上
- ⑧ 外置微电流前置放大器（圆盘电极）与微电极连接。  
低噪声微电流前置放大器用于高精度测量小于100nA电流。
- ⑨ 电化学池ECC7用做标准的电化学测量池，可应用于腐蚀研究、表面结构分析，  
很多类型的电化学池也可安装在可快速拆卸的平板上，以便快速更换测量池。
- ⑩ 定位系统可直接安装在防震台的桌面上，或安装在具有M6螺母接口的不锈钢平台上，  
整个定位系统也可安装在手套箱内。
- ⑪ 整个Z轴被稳固的可拆卸部件固定，当X或Y方向移动时，Z轴不能移动，  
这种机械结构对于使用剪切力装置在等间距扫描模式下的针尖重复定位精度是必要的。

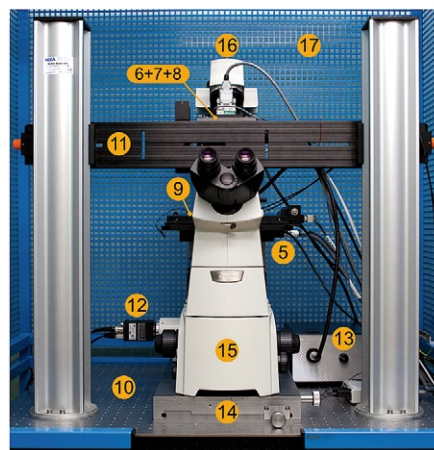
## ELP2 系统

## ELP 2系统安装在倒置光学显微镜上

EIProscan ELP\_2系统结合定位系统和倒置光学显微镜，最初用于透明的生物样品研究。XYZ平台必须安装在用户特定的基座上，以便安装倒置光学显微镜。附加的XY机械扫描平台是在XY方向移动光学显微镜调整光学Z轴位置所必需的。显微镜在Z轴移动部件的下方定位。在扫描过程中，显微镜的聚光单元不能使用且必须从光学轴上拆除。对于Z轴方向的透明成像应用，系统配备了环形光源及控制器。落射荧光显微镜特点是通过显微镜的物镜观察反射光，与显微镜的配置有关。ELP\_2系统主要用于生物研究。目镜在扫描过程中不能使用。因此，热切推荐具有CCD摄像头的集成影像系统用于观察扫描过程。HEKA公司软件可集成CCD照相机并适用于荧光成像。

## ELP2 系统硬件

- 1 EIProscan ESC\_3控制器(未示出)
- 2 双恒电位仪/电流仪PG340\_USB(未示出)
- 3 主计算机(未示出)
- 4 操纵杆(未示出)
- 5 基于编码器的闭环控制XY桌面定位系统使用直流伺服马达，其安装在倒置光学显微镜上。在扫描过程中电化学池被移动，同时聚光单元从光学轴上拆除。
- 6 基于编码器的闭环控制Z轴压电马达和直流伺服马达。
- 7 Z轴压电马达安装在Z轴转移移动台上。
- 8 外部微电流前置放大器（圆盘电极）连接微电极，低噪声微电流前置放大器用于小于100nA电流的高精度测量。
- 9 电化学池安装在XY定位桌面上，电化学池需要底部平整且透光。
- 10 整个定位系统可直接安装在防震隔离台的桌面上。
- 11 Z轴可拆卸，有2个立柱和1个水平导轨。Z轴可拆卸部件有Z轴直流伺服马达和Z轴压电马达。Z轴扫描移动台在水平导轨上与导轨垂直并左右移动离开光学轴，可使用聚光单元对样品应用透光技术。
- 12 CCD照相机作为软件控制影像系统的一部分。
- 13 环形光的光源：作为附件安装在Z轴上的，用于在扫描过程中从样品的上方照射样品。
- 14 手动定位调节显微镜平台：微电极固定在Z轴上，显微镜在XY平面移动用于调整针尖至光学坐标轴，在扫描过程中，电极的针尖始终位于显微镜视场中心。
- 15 倒置光学显微镜
- 16 聚光单元
- 17 法拉第笼用于电磁屏蔽，该装置安装在防震隔离台的上方。



ELP2 系统含剪切力模块和法拉第笼



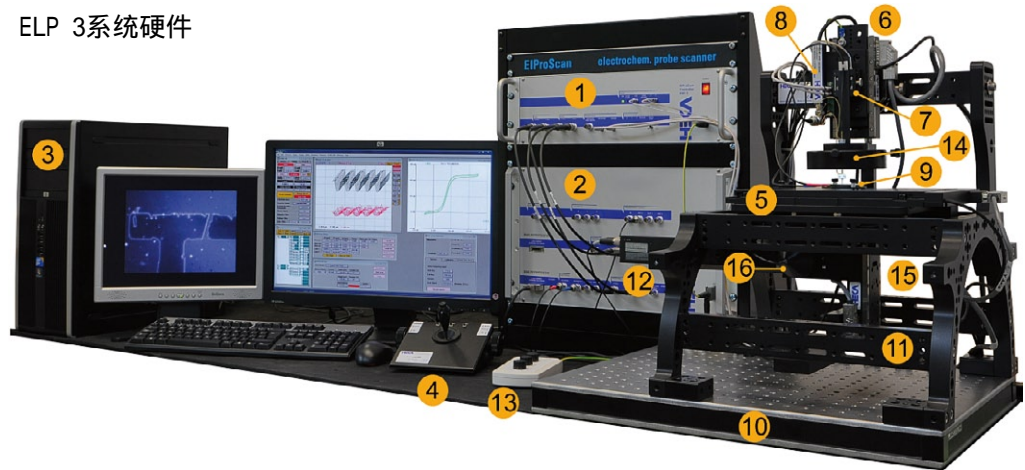
## ELP3 系统

### ELP3 顶级系统用于生物应用研究

EIProscan的ELP\_3系统提供了一整套集成倒置光学显微镜和马达控制聚焦的光学系统。显微镜光学系统与定位系统紧密结合于稳固的框架上，Z轴中心固定地调整在光学坐标轴上，所以显微镜中心始终位于视场中心位置。安装首次调整Z轴，以后Z轴固定不变。使用光源控制器和环形光源，应用不同的光照技术，用物镜观察透射光成像或反射光成像（或者二者结合），可使用NIKON或OLYMPAS荧光物镜。

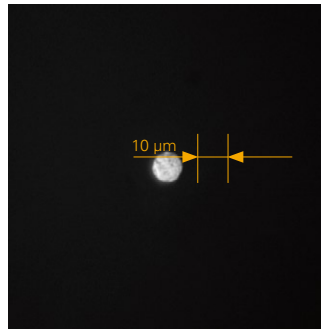
ELP\_3系统可配备剪切力模块并具有与ELP\_1系统相同的电化学特性。

#### ELP 3系统硬件



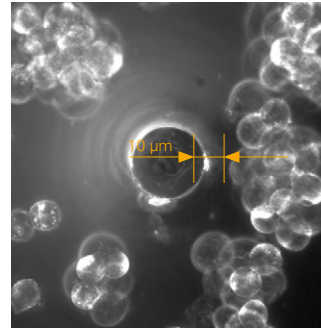
- 1 EIProscan控制器ESC\_3
- 2 双恒电位仪/电流仪PG340\_USB
- 3 主计算机带2个宽屏幕彩色显示器（支持双屏显示）
- 4 操纵杆移动XY定位平台和Z轴针尖，马达控制聚焦轴（F轴）。
- 5 基于编码器的闭环控制XY桌面定位系统使用直流伺服马达，其安装在倒置光学显微镜上方，在扫描过程中整个电化学池被移动，Z轴定位系统固定地调整在物镜的光学坐标轴中心位置。
- 6 基于编码器的闭环控制Z轴系统使用直流伺服马达。
- 7 Z轴压电马达安装在Z轴移动台上。
- 8 外部微电流前置放大器（圆盘电极）连接微电极，低噪声微电流前置放大器用于小于100nA电流的高精度测量。
- 9 标准的培养皿（带有玻璃底盘）用作电化学池，它与电极装置一起安装在可移动的XY扫描平台上，易于更换。
- 10 定位系统可直接安装在减震隔离台的桌面上，或者安装在带有M6螺母接口的不锈钢平台上。
- 11 稳定的框架结构将光学系统和定位系统所有部件集成在一起，完全满足防震隔离的需求。
- 12 CCD照相机作为软件控制成像系统的一部分，该系统可配置标准（C mount）镜头接口与不同类型的照相机连接，例如：用于荧光成像的顶级研究型照相机。
- 13 环形光源控制器可设置不同的光照角以调整对比度，光照强度也能被调整。
- 14 环形光源：目前有白色发光LED光源
- 15 马达聚焦轴（F轴）：可用操纵杆移动或使用软件窗口操作。
- 16 落射荧光光照入射端口

## ELP3 透射和反射光成像



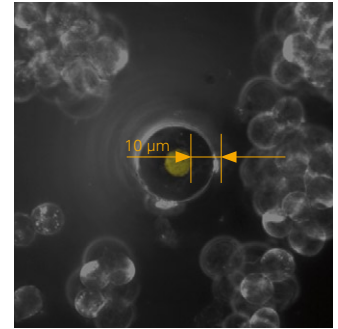
(A) 反射光成像

用物镜观察得到的白光照射10μm铂微电极表面反射光成像，微电极被调整到光轴位置且始终在视场中心区域成像，白光光源连接到显微镜落射荧光光照入口。



(B) 透射光成像

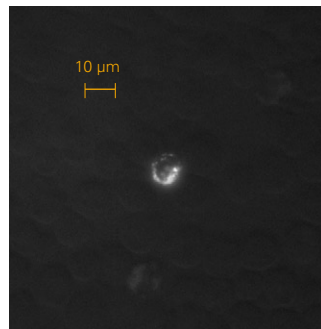
透射光成像只能用环形白光照射。10μm铂微电极 (RG=3) 与隔离玻璃一起成像在视场中心位置，在微电极周围T细胞被较好地分辨出，细胞边沿直径比微电极芯大。



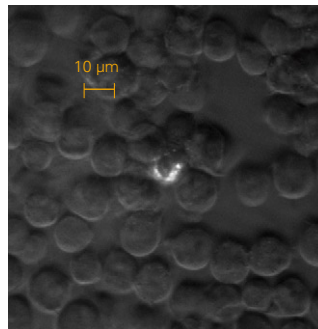
重叠成像 (A) + (B)

透射光成像和反射光成像可被叠加在一起且可用外部图像软件处理颜色。此外，还可得到数字图片或视频画面将透射光和反射光结合以后成像。

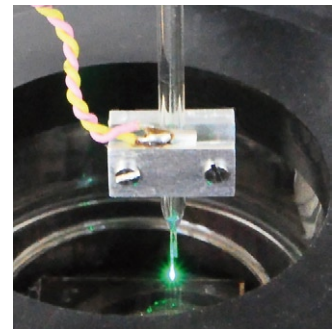
## ELP3 荧光成像



单个T细胞粒线体荧光成像 (与粒线体RFP转染)。用单色光和物镜反射模式通过物镜照射得到落射荧光。单色光切换器LAMBDA DG4由液体光导管连接后，再连接ELP3的落射荧光光照入口端，由HEKA公司的软件进行控制。由于没有暗场，使用滤光片有效地从环境光中分开荧光。

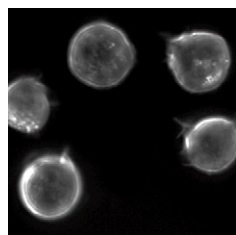


落射荧光光源DG4和环形透射光照同时应用，得到单个T细胞的粒线体成像 (与粒线体RFP转染)。得到的是荧光和透射光结合在一起的图像。没有任何其它软件可以得到这种重叠的图像。

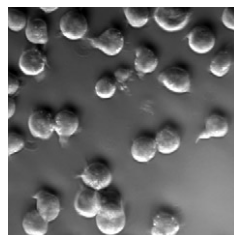


用物镜 (反射模式) 观察单色光在微电极针尖上的落射荧光成像。

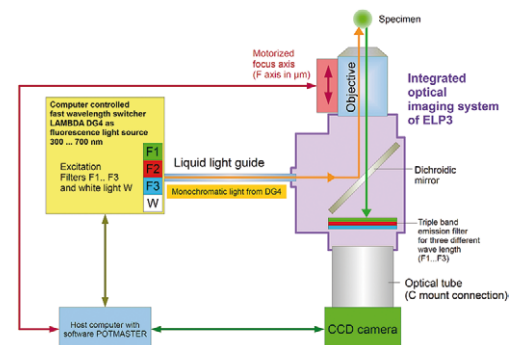
## ELP3 环形光源得到对比度增强的图片



环形光锐角照射是提高对比度的有效方法，这类似于使用相位差聚光镜。



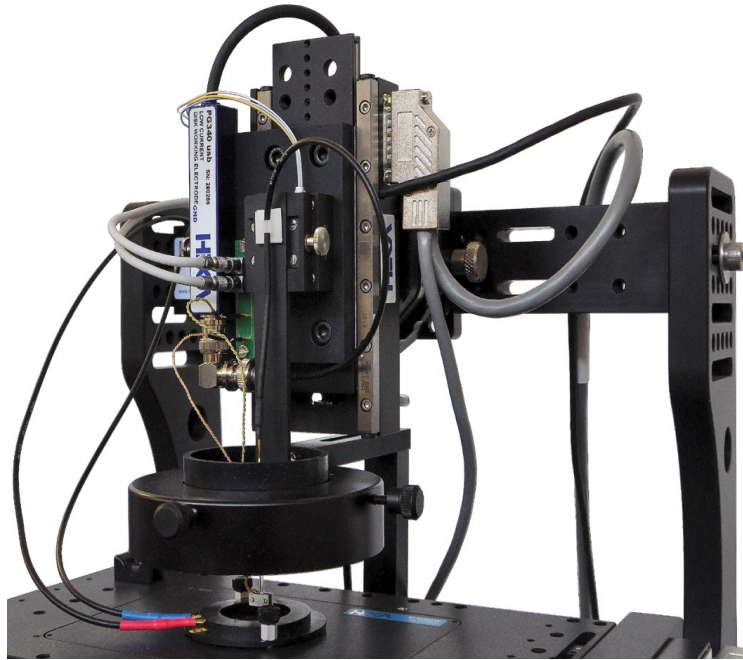
环形光源控制器可调整不同光照参数 (光强度, LED组光照角等), 以得到类似3D图像的效果。



ELP3 光学成像系统用快速波长切换器 LAMBDA DG4 作为外部落射荧光光源以产生单色落射荧光光照。



ELP3 Z轴具有剪切力  
装置和环形光源



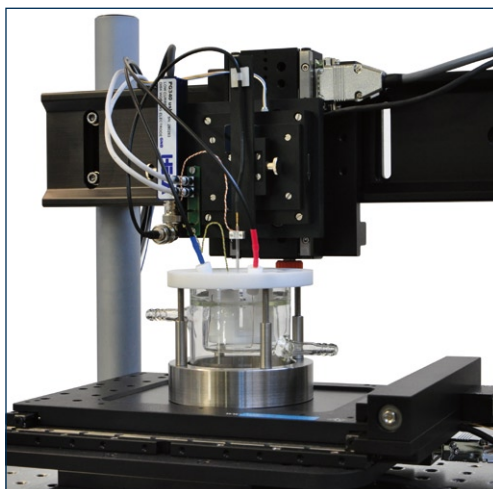
高精度定位系统具有自动标定功能

HEKA公司提供三套高分辨率的EIProscan系统：ELP\_1，ELP\_2和ELP\_3。它们三者的区别只是定位系统的机械结构上有不同和用户的应用需求有不同。定位系统包括3套直流伺服马达（XX，YY，ZZ）和1套Z轴转移移动的压电马达（Zpiezo），具有以下特性：

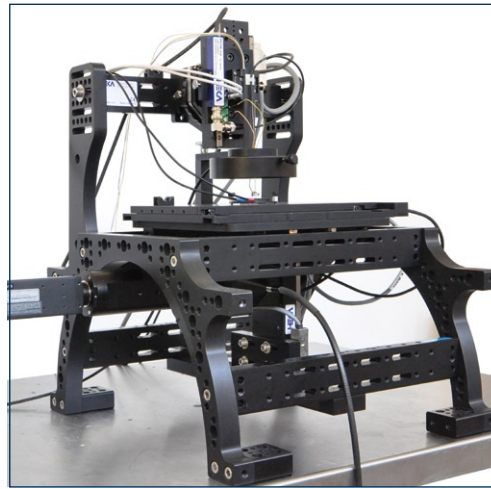
- 所有坐标轴的定位（XX，YY，ZZ，Zpiezo）都是由外部控制器进行闭环调控，位置信息由编码器记录。定位的保持和调控由外部硬件控制，该硬件不依赖于主计算机和Windows操作系统，即使主计算机电源关闭条件下仍然保持定位。闭环控制系统有效地消除了扫描过程中不同行之间的机械间隙误差，可提供高重复性的定位精度。
- 在实验开始前，EIProscan定位系统的3个坐标轴全部进行自动标定，标定完成所需时间为一分钟。标定后的定位系统使重复定位精度达到纳米范围。
- Z轴压电马达（Zpiezo）同样是闭环控制。快速Z轴压电马达反应时间4ms，在倾斜的平滑样品表面扫描的同时进行X和Y二个坐标轴方向的双斜率补偿。在等高模式扫描中有效分离出形貌电流变化和活化中心的电流变化。在等间距扫描模式下，剪切力装置可记录样品形貌变化的同时记录电化学数据。
- EIProscan系统供货时配置专用的Windows系统计算机，平板宽屏彩色液晶显示器可将所有控制窗口和数据采集窗口在屏幕上同时显示。专用的实时过程控制硬件，具有自己的实时操作系统OS，可对定位系统的同步定位控制和采集定位信息、同步采集双恒电位仪电化学数据和同步采集基于计算机Windows操作系统软件数据。实时的硬件和软件结合对以恒定速率进行扫描的定位控制和最佳化数据同步处理来说是绝对必要的。因为在扫描过程中测量时间，所以可精确地测定局部电量。
- Z轴定位系统将压电马达移动台和Z轴直流马达移动台结合在一起，压电马达移动台安装在直流马达移动台上。整个Z轴定位系统垂直地固定在与XY平面平行、可拆卸的导轨上，用于尽量减小水平方向的定位误差。因此，微电极只在Z轴方向移动，电化学池在XY平面上移动。这一技术结合防震隔离平台，使最小化机械偏差和在纳米范围的扫描成为可能。
- 不同类型电化学池（包括与所有电极的连接方法和与溶液交换的连接方法）均可在X平台中心位置处放置。



ELP1 定位系统



ELP3 定位系统带倒置显微镜



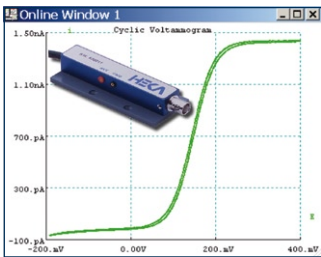
## 机械结构

- 安装在坚硬不锈钢平台上，平台表面预先钻孔（M6，间距25mm），提供了安装其它附件的区域。
- Z轴安装在可拆卸的部件上。
- 定位系统安装在拱型机械框架上，为在下面安装光学显微镜平台预留空间。
- 整套定位系统安装在防震隔离平台上或安装在较宽的平板上。
- Z轴定位组件安装在XY定位系统的手动调节的提升臂上，用于调整微电极针尖至光学轴位置。这样针尖保持在视场中心位置，在扫描过程中成像系统可观察针尖图像。
- 马达驱动的光学聚焦（F轴）部件安装在定位平台的下面并携带落射光源入射口。
- 在扫描过程中整个电化学池被移动，微电极针尖相对于XY方向是固定的。
- 环形光源安装在XY平台上方，用于在扫描过程中照射样品表面（透光模式）。
- 荧光激发光源经落射光源入口后与光导通道连接耦合。该端口可作为电极表面入照光射端口的一种选择。
- 在针尖上可实现时间分辨的荧光成像，在扫描过程样品可被替换。

## 典型应用

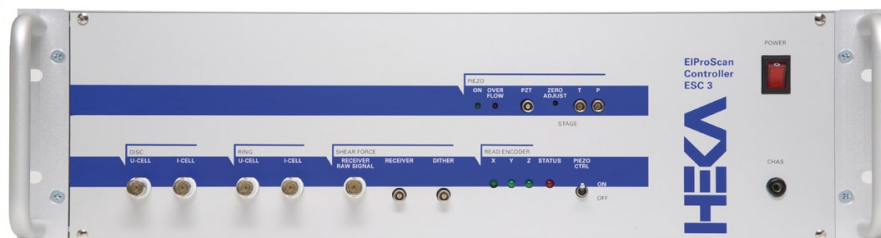
- 在不透光的样品表面上方进行扫描
- 在透光的样品表面上方进行扫描（如：细胞或透光的电极材料）
- 光照射在生物样品表面上进行成像及所需的电化学技术。
- 电化学反应过程中在针尖上荧光成像。

全部由计算机控制的双恒电位仪/电流仪 PG 340 USB



- 2个独立的工作电极，称作环（RING）和盘（DISK）电极。可使用1个公用的对电极和2个参比电极。PG340 USB全部由计算机控制，计算机内有数据采集接口卡LIH 8+8 (200kHz/16 bit)，它提供5微秒时间分辨率的、2个通道的同时记录数据。
- 可使用2个外部前置放大器测量低噪声电流。当电极直径小于1 $\mu$ m时，在针尖上的法拉第电流成为非常微弱的信号，对微弱电流放大提出了很高要求。为了使信号噪声比达到最佳化，微电极与前置放大器通过特殊的连接部件连接在一起，而不使用多余的信号线连接。这种方法在使用前置放大器时，其电流噪声在1kHz带宽的条件下小于30fA。因此前置放大器可用于检测电流小于1pA。
- 高槽压范围 $\pm 20$ V（对电极和工作电极之间的电压），使在低浓度导电介质环境下电化学测量成为可能（如：纯水，溶剂具有小浓度的支持电解质，样品具有氧化层，有机溶剂，油等）。
- 高扫描电压范围 $\pm 10$ V（参比电极和工作电极之间的电压）。对于低浓度导电介质或氧化层上进行的恒电流和恒电位测量必须保证工作电极和参比电极之间有足够电压。
- 对于大样品可提供大电流（ $\pm 2$ A，在RING和DISK电极上）。这样可确定大尺寸样品的循环伏安和氧化还原电位，也使在满电流负载条件下对较大电极材料的局部动态扫描研究成为可能，如研究燃料电池的电极材料。
- 三个16位A/D输入通道具有 $\pm 10$ V模拟电压范围，在面板上有BNC接头。这些输入通道在电化学测量的同时可用于记录外部设备的模拟电压（如石英晶体微天平，热电偶，pH计，光谱仪等）。
- 二个16位D/A输出通道具有 $\pm 10$ V模拟电压范围，在面板上有BNC接头。这些输出通道在应用电化学测量方法时可用于同步控制外部设备（如：旋转圆盘电极，加热器，光源等）。数据采集和对其它设备的电位输出控制可在PGF序列程序中结合应用。
- 恒电位仪/电流仪完全由POTMASTER软件进行标定和测试，使用户在几分钟内即可方便快捷地消除电流和电位偏差。

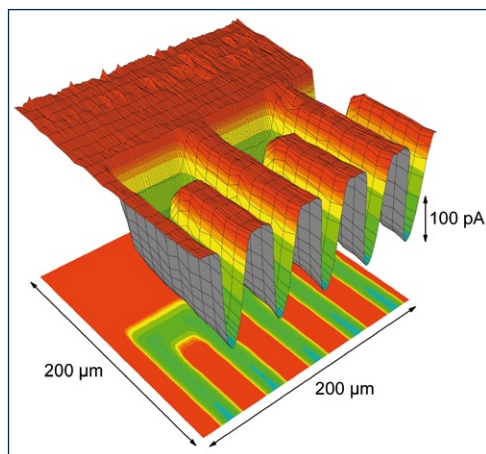
## EIProscan控制器ESC 3具有实时同步控制



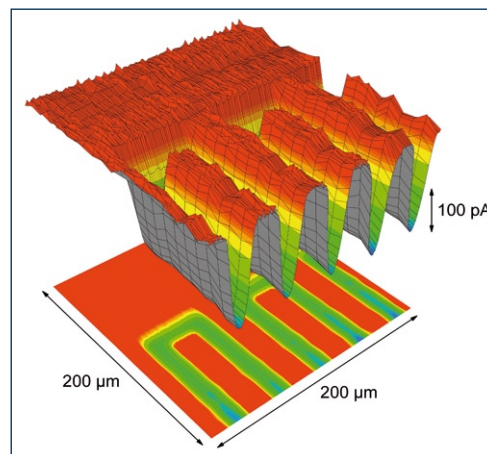
### 为什么实时同步控制？

EIProscan实时控制的主要特点是低噪声精确控制所有坐标位置。EIProscan在样品表面上以恒定速率扫描的同时，在预先计算好的位置点不间断地采集针尖上的电化学数据，这伴随着计算机控制系统实时读取编码器的位置信息并比较预先计算好的位置信息。当扫描到预先计算好的位置时记录电化学数据，例如线扫描由扫描宽度、分辨率和扫描速率等参数确定，让我们假设扫描沿着50 $\mu\text{m}$ 长度采集6个数据点，精确的采集数据位置是：0, 10 $\mu\text{m}$ , 20 $\mu\text{m}$ , 30 $\mu\text{m}$ , 40 $\mu\text{m}$ , 50 $\mu\text{m}$ ，电化学数据只能在这些点位置上采集。这一方法的优点是可以计算出传输至电极表面或离开电极表面的质量，因为电极表面的半球形扩散区域不被任何的停留和扫速的漂移所干扰。这种方法可用于计算在产生--收集模式中所测量出的局部物质释放的反应时间。对于局部刻蚀或沉积，针尖移动速度恒定对于结构对称性和均一性的测量是绝对必要的。

- EIProscan控制器ESC 3具有可精确同步控制和数据采集的实时计算机系统。该实时计算机系统包括自己的处理器板和16位数据采集系统，与主计算机通过LAN网络连接。
- 在处理器板上运行的分离实时操作系统，完全控制数据采集。
- 实时的硬件和软件的结合对于恒定速度扫描来说是绝对必要的。因为扫描过程中时间被精确测量，所以可精确确定局部电量。
- 现代PC计算机系统配置完全，配备有TFT宽屏液晶显示器可显示出所有的控制窗口和数据采集窗口。
- POTMASTER软件具有嵌入式扫描扩展功能，可一次运行安装软件，并且可直接进入定位系统和双恒电位仪/电流仪控制窗口，定位系统和双恒电位仪/电流仪的配置参数与数据同时存储，以便于事后数据分析和重建精确的结构。



等速扫描：10 $\mu\text{m}/\text{s}$

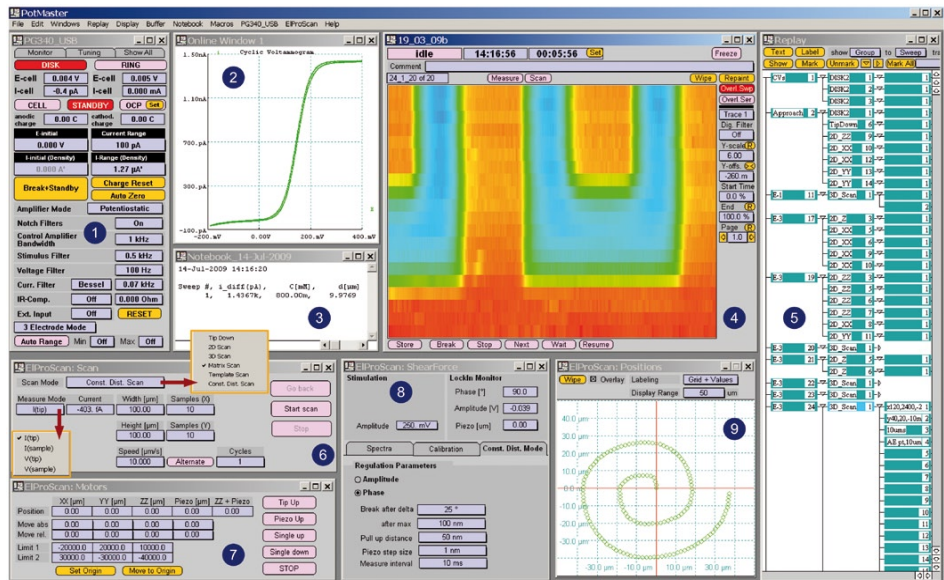


等速扫描：20 $\mu\text{m}/\text{s}$



## EIProScan – POTMASTER软件具有扫描扩展功能

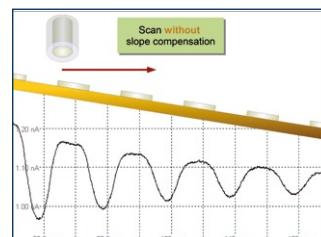
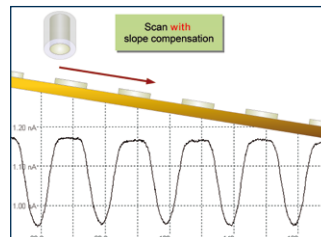
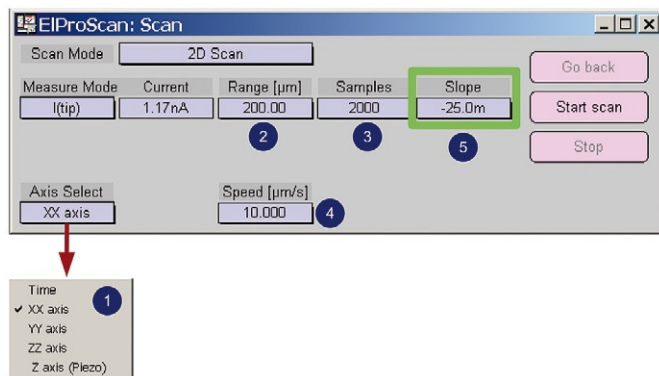
EIProscan系统由早先建立的POTMASTER软件和嵌入式扫描扩展功能进行控制。POTMASTER软件是为了多通道数据采集和激发、为了波形发生提供高级工具、为了在线分析数据和数据浏览等多种功能提供编程协议和宏命令的一种可编程的程序。POTMASTER可用于多用户环境，每个用户可创建自己的配置文件以便使用个性化的宏命令、编程协议、脉冲发生器模板和在线分析数据文件。



- 1 **Amplifier Control** 放大器控制：所有双恒电位仪/电流仪功能均可从Potentiostat窗口进入。
- 2 **Online Analysis** 在线分析：在Online Window窗口中显示当前刚记录数据或再次浏览数据。在Notebook窗口中同时显示数字结果，Online Window中图片可拷贝到剪切板并且用于直接应用于其它环境。
- 3 **Notebook** 笔记本：重要的信息、系统提示和分析结果被存入Notebook，其内容可以ASCII文件格式输出，或直接拷贝到其它应用环境。
- 4 **Oscilloscope** 示波器：像示波器一样具有快速存储能力以便显示记录数据，此外还具有多种功能：显示放大参数调整，坐标偏移量调整、光标测量模式、数字示波器特点显示3D图形和扫描图像的可视化显示。
- 5 **Data Tree -Replay** 数据树-再次浏览：在Replay Window窗口数据文件按照树形结构编组，对于数据的再次浏览、输出文件、打印文件按和编辑文件来说都很方便，对任一实验数据文件填写标签和文字以描述实验内容。
- 6 **Scan Window** 扫描窗口：可选择7种不同的扫描模式（Scan mode），如选择2D扫描模式。测量模式（Measure mode）指定在扫描过程中显示测量参数。扫描参数如：宽度（width）、高度（height）、分辨率（Samples）、实时控制扫描速率（Speed）等，均可被指定。
- 7 **Motor Window** 马达窗口：是扫描扩展功能的一部分，始终显示当前针尖位置。微电极可被绝对移动距离参数或相对移动距离参数控制移动，当前坐标位置被存储为坐标系统的起始点，相对于坐标起始点所能移动最大距离被显示出。单击鼠标按钮针尖即可重新返回坐标起始点，还提供了针尖垂直移动并且手动控制逼近样品表面的功能。
- 8 **Shear Force Window** 剪切力窗口：SFU 3剪切力控制器的所有控制功能均可从该窗口进入。包括：频率扫描部分用于确定针尖逼近样品表面频率。在等间距扫描过程中，可标定剪切力模块。等间距调整控制参数可被选择为振动频率的振幅或相位。
- 9 **Positions Window** 定位窗口：在针尖移动的同时，图形化显示针尖当前位置。当用模板扫描时（Template scan），该窗口用于显示已经导入的HPGL格式数据文件（该文件由CAD程序生成）。开始模板扫描后针尖沿着图形位置进行扫描，并在每个点位上运行指定的脉冲发生程序。扫描的分辨率和图形指定的区域可在扫描扩展的参数设置窗口进行调整。在模板扫描过程中，针尖移动的轨迹被图形化显示在该窗口内。

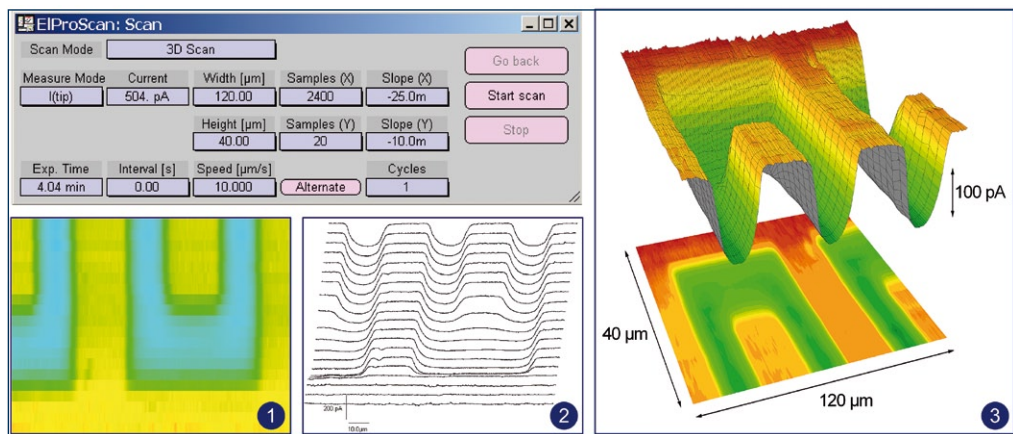
## → EIProScan – 扫描特性

2D线性扫描可在X、Y、Z方向进行，在X、Y平面具有斜率补偿。



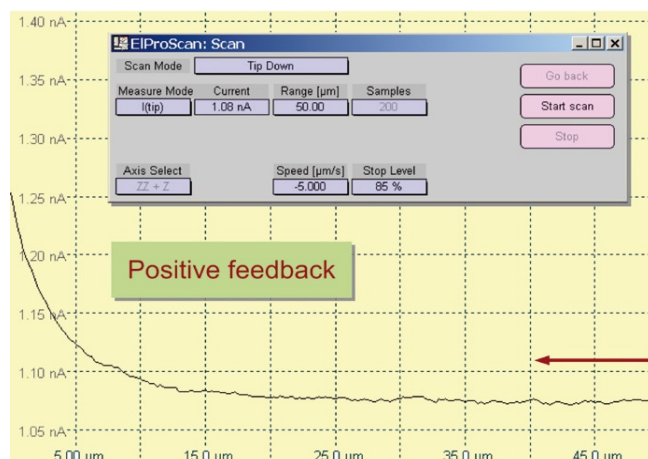
- 2D扫描可在所有坐标轴上进行，Z轴压电马达的2D扫描速率可至1nm/s，可使用非常小的电极扫描。
- 可指定扫描范围
- 采样点数即确定了扫描分辨率
- 扫描速率恒定不变而且被实时控制
- 在沿某个坐标轴方向扫描时，斜率补偿是由Z轴压电马达完成。使用较大直径电极、在固定倾斜角度、较大范围的样品表面上扫描，这种斜率补偿方法是可行的。斜率的测定方法是在样品表面不同点位处测定2个针尖逼近样品表面的曲线。

3D扫描在X、Y平面上进行，在X、Y平面具有斜率补偿。



- 在扫描同时以二维彩色地图方式显示表面图形。
- 在扫描同时以三维结构显示表面图形。
- 用输出ASCII格式的数据文件和其它作图软件得到的视觉效果三维图片。

针尖向下移动自动逼近样品表面



这种模式允许在第一次针尖自动逼近表面时使用。当针尖电流超过设定的停止条件时，立即停止针尖下移。

用SFU3剪切力装置实现  
等间距扫描

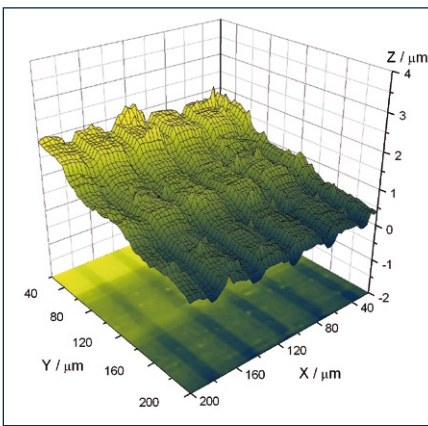
为了解脱样品的催化特性对表面形貌的影响，必须用等间距扫描模式。等间距扫描不依赖所测量的针尖电流，使用电流独立测量模式（current independent measurement mode）测量表面高度得到与Z坐标相关的附加信息，即样品表面形貌。

在针尖逼近样品表面过程中测量针尖横向振动频率的衰减。针尖逼近表面过程中，横向振动的针尖产生与溶液相平面之间的剪切力和针尖与样品表面之间的剪切力。随着针尖逼近样品表面，针尖的振动频率被衰减。

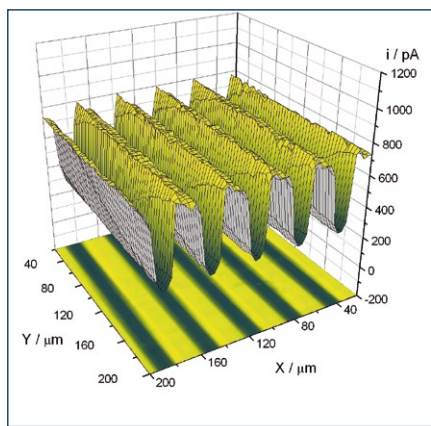
在针尖接触样品表面之前可观测到针尖振动频率的振幅减小、振动信号的相位偏移，因此用剪切力方法可测量出针尖与样品表面之间的距离并且可以调节它们之间的距离。

剪切力装置是完全实时控制的并集成于POTMASTER软件的扫描扩展功能，所有的EIProscan系统都可以简便地升级到具有剪切力装置。HEKA公司的电极都适用于剪切力装置。

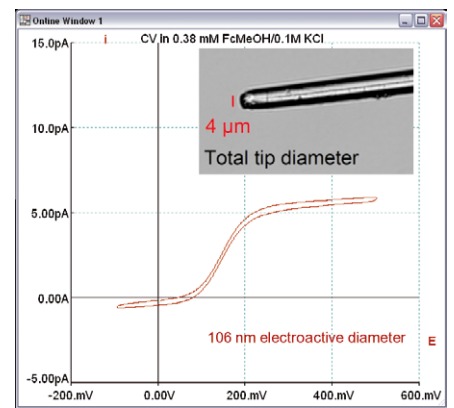
剪切力装置也可作为标准的单独仪器以便与其它厂商的SECM系统配套使用。



表面形貌（纯形态）

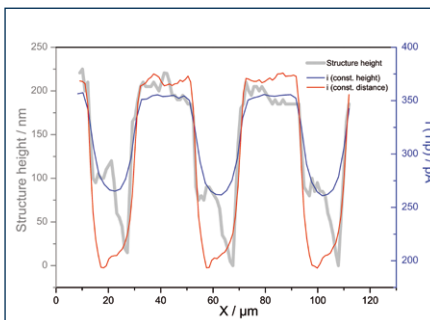


电化学活性表面

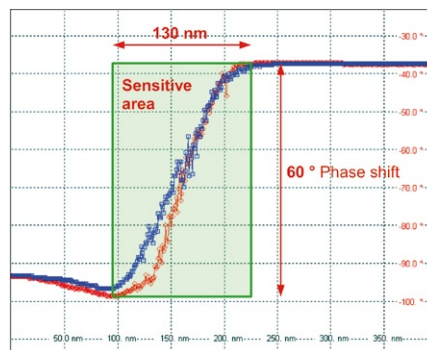


HEKA公司的铂微电极直径 1um

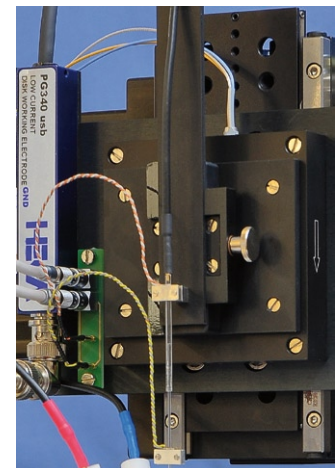
剪切力扩展功能在一次测量中同时提供表面形貌和表面电化学活性曲线



剪切力扩展功能测量得到的无电流信号的样品表面形貌的高度变化曲线和针尖与样品表面保持恒定距离（等距离模式）条件下的电流曲线。等间距模式的电流分辨率比等高模式的电流分辨率好很多，因为针尖逼近样品表面达到几个nm的距离。



剪切力扩展功能提供高重现性和高灵敏度的逼近曲线，分辨率达到几个nm范围。在样品表面上方剪切力灵敏区域大约是100...300nm范围，这取决于样品表面特性，如果针尖直径减小，灵敏区域也随着减小。



剪切力电极固定装置

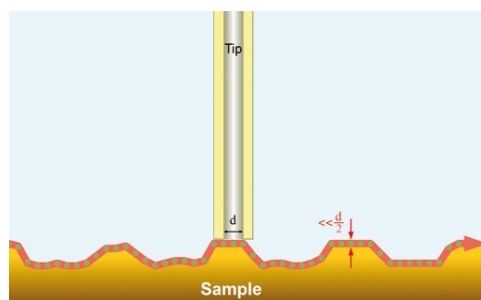
## 等高扫描与等间距扫描

为什么等间距扫描模式是必需的？

表面粗糙度严重影响在产生--收集模式和反馈模式下针尖电流。不能预测高的针尖电流产生原因由于活性样品的表面高度或微电极针尖附近区域的活性中心，电流的增加可能是针尖与样品表面的距离减小，参见前述的没有斜率补偿的2D线扫描图片。因此，从电流测量中同时确定样品表面形貌与电流的不相关性是必需的，用剪切力方法实现。下列图形对比有斜率补偿的等高模式和等间距模式，绿色点为电流测量，显示横向扫描分辨率。

何时使用等间距扫描或等高扫描？

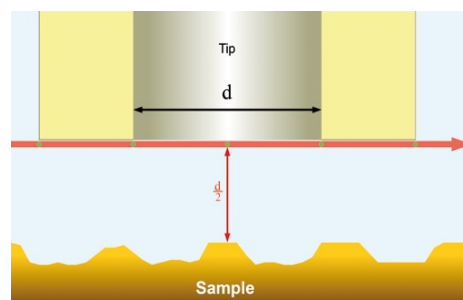
等间距扫描



- 一般当表面粗糙度在活性针尖直径范围内时使用。
- 即使针尖直径大于10 $\mu\text{m}$ ，也可用这种扫描模式（如：不锈钢表面颗粒）。

使用非常小的针尖可得到非常高扫描分辨率。电极活性直径小于或等于1 $\mu\text{m}$ 时，在多数情况下小于表面粗糙度。为了得到较高反馈电流，等高扫描模式电极应该接近样品表面达到小于500nm范围内。表面粗糙度大约2 $\mu\text{m}$ 时，等高扫描模式不能使用，因为扫描过程中针尖会碰触表面。使用有剪切力模块的等间距扫描模式是从样品表面结构测量出可靠电流变化的唯一的方法。

斜率补偿的等高扫描



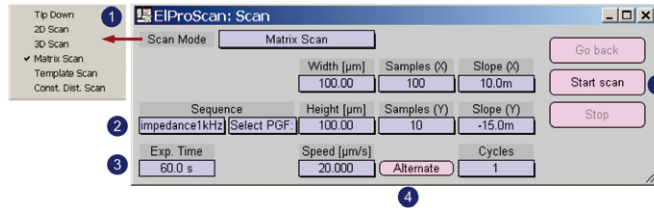
- 一般当表面粗糙度比活性针尖直径小很多时使用。
- 样品表面平整且具有恒定X、Y方向的斜率时使用。

用针尖直径10 $\mu\text{m}$ 微电极可提供更低横向扫描分辨率。电极离开样品表面大约5 $\mu\text{m}$  ( $=d/2$ ) 扫描，此时样品表面粗糙度比d/2间距小很多时可以可靠地得到较低的扫描分辨率，但样品表面必须平整且具有恒定X、Y方向斜率。这种模式的优点是快速扫描，根据不同氧化还原介质，扫描速度可以达到20 $\mu\text{m}/\text{s}$ ，甚至更高。典型应用是质量控制，较大范围活化中心分布进行短时间的扫描，如大型钢探头、传感器阵列、电极材料等。

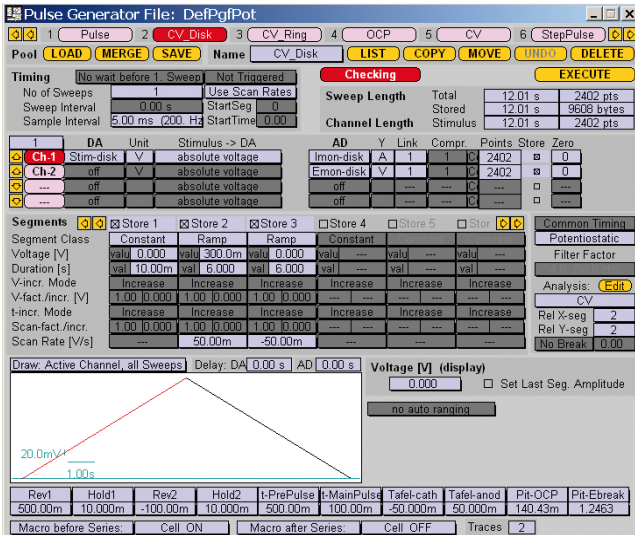
应用

- 生物探头：细胞在低浓度中心区域向外层隔膜释放物质。
- 当需要高横向分辨率。
- 当活性中心区域很小时。
- 当扫描接近活性中心时可得大电流分辨率的“对比变化”。
- 用高扫描速率对较大范围的平整电极材料或钢探头表面进行扫描。
- 当较低的横向分辨率是可接受的。
- 当较大活性中心位于电极活性直径范围内时。
- 当较低的电流分辨率是可接受的。

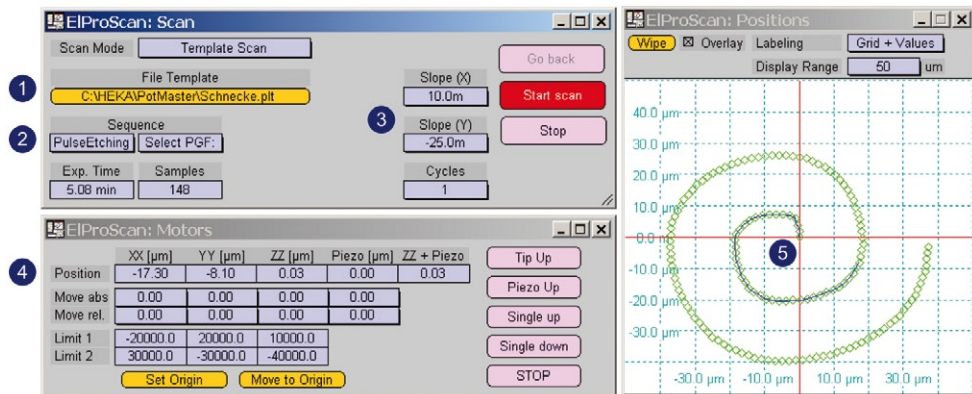
矩阵扫描模式具有自由选  
择已编程好的电化学技术



- 1 6种扫描模式中任选1个。
- 2 在每个矩阵点上应用不同的波形发生技术均可在此选择，时间分辨率是5us。正弦波形可用于局部阻抗测量，斜波可用于局部循环伏安测量，固定时间段可用于局部脉冲测量，这些PGF序列是在POTMASTER的脉冲发生器中已经编程好的。
- 3 计算出扫描过程所需的完整时间，根据所输入的参数显示时间。
- 4 设定扫描参数如：扫描面积（宽度×高度），分辨率（采样点数），速度，重复扫描次数，沿X和Y方向的校正斜率等。
- 5 扫描控制按钮：启动（Start），停止（Stop）和返回（Go back）。



模板扫描用于表面刻蚀，  
沿着所设计路线应用已  
编好程序的电化学技术。



模板扫描是一种理想的工具，  
用于电化学刻蚀和金属沉积  
在预定结构上。

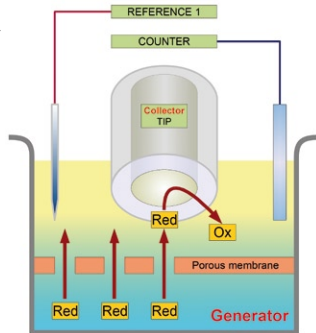
- 1 用CAD软件可设计出结构图并输出HPGL格式的文件。HPGL文件可导入，在Positions窗口显示出结构图形。图形结构的分辨率和尺寸规格可在Settings窗口设定。
- 2 由定位系统逐点扫描，每个点上的结构可应用已经编好程序电化学技术，该技术是从库中导入的PGF序列。
- 3 样品可在X和Y方向倾斜，在此设定补偿的斜率。
- 4 针尖沿结构图路线扫描，针尖实际坐标在Motors窗口中被显示出。
- 5 针尖移动轨迹在Positions窗口中被图形化显示，并且与结构图形重叠在一起。



## 生物应用和EIProscan在生物化学和电生理学方面的用途

### 沿隔膜表面的分子传输成像

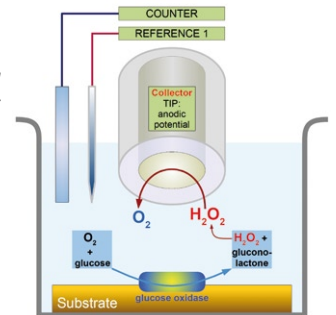
多孔隔膜释放出物质被针尖氧化。另一个类似的应用是活细胞释放神经递质。所有应用都是用产生--收集模式。氧化还原活性物质从产生极释放，在收集极被检测。



产生--收集模式具有非接触样品

### 局部酶活性成像

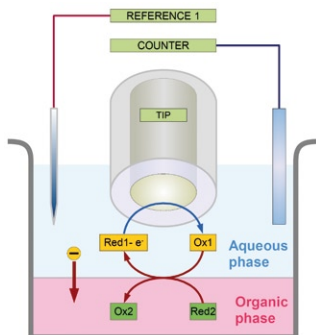
在这个示例中，葡萄糖氧化酶的局部活性被记录。在含氧的水溶液中酶敷着在基片上，在溶液中添加葡萄糖，酶局部产生过氧化氢，该物质被用作收集极的铂针尖还原。



产生--收集模式具有非接触样品

### 在液/液相界面的电荷传输成像

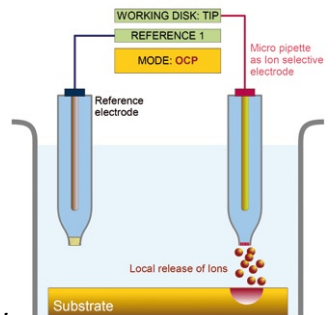
在溶液相中针尖产生氧化后的物质Ox1. 当针尖逼近二个不相溶的相面时，氧化还原媒介Red因Ox1减少而被再生： $Ox1 + Red_2 \rightarrow Ox2 + Red_1$ . 因此，在发生局部再生反应区域针尖电流快速增加。在二相溶液中保持电中性，相同离子的传输伴随ET反应同时发生。



反馈模式具有非接触样品

### 电位计模式记录局部离子释放

使用离子选择性微电极在开路电位模式下测量出局部释放的离子。这种特殊模式用断开对电极方法，用高输入阻抗 (> 100 GΩ) 电位计测量出工作电极 (离子选择电极) 和参比电极 (Ag/AgCl) 之间的电位，在基片表面扫描的同时记录针尖电位。

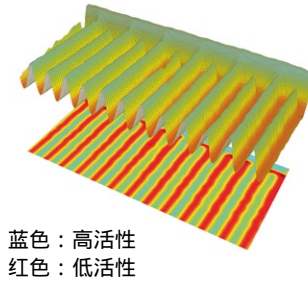
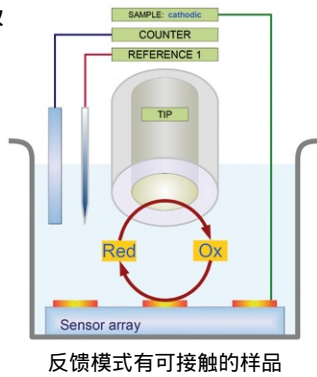


电位计模式，断开对电极

## 催化材料、电极材料和电化学传感器等表面活性成像

### 微传感器阵列中的活性电极成像

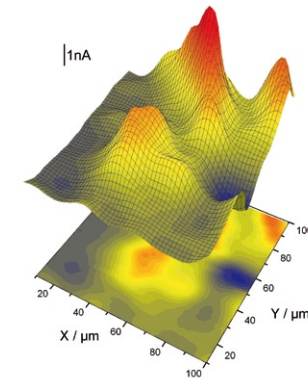
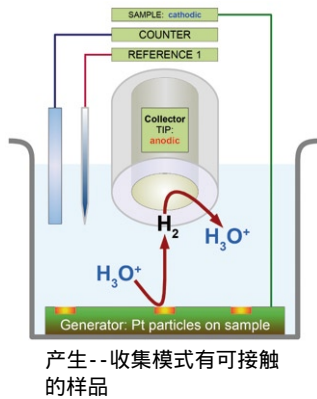
这是正反馈模式典型应用。远离阵列氧化还原媒介被氧化，逼近活性电极时，氧化还原媒介被再生，这由于已被氧化的物质被还原。当正反馈于一个活化电极表面的时候电流将会增加。



在传感器的微电极阵列上扫描使用反馈模式。单个电极条的响应与被检测的氧化还原媒介有关。使用固定的电化学条件可比较不同传感器材料的响应信号，并用于质量控制。

### 电极材料上的热点成像

这是产生--收集模式典型示例。起催化作用样品连接到双恒电位仪的对电极并保持使质子还原和产生氢的阴极电位，在热点区域释放的氢气可在微电极针尖上氧化。针尖用作氢气的收集极。

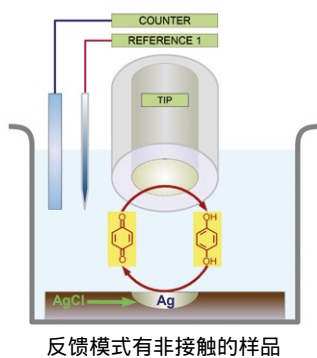


在掺硼的金刚石电极表面上扫描。红色区域表示高密度的硼原子，它是电极材料导电性的主要因素。蓝色区域表示低导电性。

## 电化学表面结构化

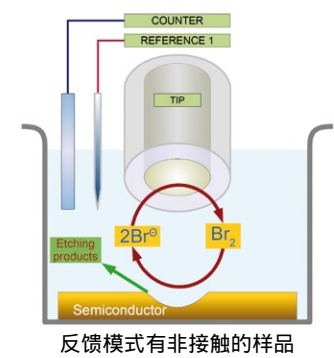
### 金属沉积

这个例子为当针尖在具有AgCl薄层样品表面上扫描，形成银的图。甲苯石油精在针尖被还原并产生对苯二酚，对苯二酚扩散到AgCl表面，AgCl还原而引起银晶体生成。用“化学透镜”减小对苯二酚的扩散场，形成的图案比针尖直径小是可能的。按照定义的结构进行沉积，推荐用模板扫描功能。



### 电化学刻蚀

产生非常强的电化学氧化物质使半导体表面被刻蚀。为了按照已经设定的结构进行刻蚀，应使用模板扫描功能。在这个示例中，在针尖处形成溴。针尖逼近砷化镓晶片，可观察到正反馈控制和深度刻蚀点。化学透镜可增加刻蚀图案的分辨率。





基本的系统组成部分	ELP 1 - EIProscan系统用于非透明的样品	ELP 3 - EIProscan具有倒置光学显微镜
定位系统	XY样品台和Z轴具有直流伺服马达闭环控制 Z轴的精确控制使用压电驱动来完成。 ELP1：全部系统安装在宽平板上（或实验室桌面），Z轴组合件安装在可移动部件上。操纵杆用于手动控制XYZ定位，是可选件。	ELP3：XY样品台和聚焦Z轴安装在机械的拱形框架上，Z轴组合件具有手动调节XY位置的提升臂。游戏操纵杆用于手动控制XYZ定位和聚焦轴，是基本的系统配置。
光学设备		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 马达聚焦轴</li> <li>• 1个显微镜物镜端口</li> <li>• C-Mount 端口用于安装摄像头</li> <li>• EPI 荧光光路具有5mm直径的光导管和1个立方分束器</li> <li>• 环形光用于光传输照明</li> </ul>
双恒电位仪/电流仪	PG 340 USB 具有1个前置放大器	
ESC 3 EIProscan控制器	实时控制器集成了定位系统的马达驱动电路板和SFU 3剪切力装置	
主计算机系统	预先配置的计算机系统具有宽屏显示器，信号线，适配器，可选配2个显示器	
软件	POTMASTER + 扫描扩展	
系统集成和安装	系统包含所有的信号线，适配器，手册，文件形式的验收报告测试步骤。	

可选配件	ELP 1	ELP 3
电化学池	任何用户自制的电化学池均可安装在可移动的XY扫描平台上。 电化学池平台可快速更换，可利用的安装面积 (160 x 110) mm <ul style="list-style-type: none"> <li>• ECC 7 电化学池</li> <li>• OSC 5 开口夹层电化学池</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OSC 5 口夹层电化学池</li> <li>• 记录池用于电生理研究</li> <li>• 记录池具有温度控制和灌流系统，适用于电生理研究</li> </ul>
减震隔离 + 电磁屏蔽	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 防震隔离实验台 + 标准法拉第笼（有二个前开门）。</li> <li>• 有源震动隔离系统 + 桌面法拉第笼（有前开门）。这种组合必须放置在坚实的实验台面上。</li> </ul>	防震隔离实验台具有安装螺纹孔 + 标准法拉第笼（有二个前开门）。
微电极	金 + 铂微电极具有 10 μm 电活性直径，铂微电极的电活性直径小于 $\varnothing < 1 \mu\text{m}$ 可连接至 2.0 mm 电极连接器和剪切力电极固定部件。	
微电极抛光机	抛光机用于对圆盘微电极表面进行清洗，包括精细手动调节器，80x 双目镜，照明系统，2个摩擦盘。	
SFU 3 剪切力装置	对于等间距扫描模式，使用微小电极。包括：剪切力电子控制器，电极固定部件和连接信号线。	



可选配附件	ELP 1	ELP 3
倒置显微镜选配件		ELP 3 可根据用户对品牌和放大倍数的要求配置1个显微镜。此外，还预留了1个安装反射照明和荧光应用的立体分束器位置空间，立方体可根据用户需求配置滤光镜。请与HEKA公司联系了解详细情况。
成像系统		有多种摄像头和 CCD 成像系统适用于ELP 3 可根据用户需求进行配置。

定位系统	ELP 1	ELP 3
	高质量闭环控制的三坐标轴定位系统，每个坐标轴上有线性编码器，可实现实时闭环调控以消除机械间隙偏差。	
分辨率	X,Y: DC 直流伺服马达 10 nm, 闭环控制。 Z: DC 直流伺服马达 10 nm, 闭环控制 + Z-Piezo 压电驱动 1.5 nm, 闭环控制。	
Z-Piezo 分辨率	< 1 nm 分辨率， Z-Piezo 压电驱动分辨率受限于控制电压的分辨率（大约为1.5nm）。	
移动范围	X, Y: 100 mm DC 直流伺服马达 Z: 50 mm DC 直流伺服马达 + Z-Piezo: 100 μm	
Z-Piezo 响应时间	120 g 负载条件下，每步完成时间4ms.	
安装面积	160 x 110 mm 平台有 M5 螺纹定位孔，间隔 25mm 栅格，用于安装电化学池。其它规格的螺纹孔，需提前申请。	用于安装 35 mm 培养皿的螺纹孔 其它规格的螺纹孔，需提前申请。
重量	30 kg( 净重 ) 包括宽平台	20 kg( 净重 ) 只包括定位系统及其配件
尺寸	(60 x 45 x 40) cm (L x W x H) 宽平台	(80 x 45 x 52) cm ( L x W x H) 定位系统
ESC 3 控制器	85 VAC to 264 VAC, 120 W, 200 W 峰值	

## 双恒电位仪/电流仪PG 340 USB

全部由计算机控制的双恒电位仪/电流仪，具有2个独立控制的工作电极（称作环Ring和盘Disk电极），微电极针尖与Disk连接，样品与Ring连接。在针尖和样品上可同时运行不同的电化学实验方法。PG 340 USB特点是电流范围宽（高达2A），可用电流前置放大器检测微电流pA范围。自动校正程序保证所有硬件在任何时候具有全部的测量功能。

补偿电压	± 20 V 针尖和样品相对于对电极之间的电压
扫描电位范围	± 10 V 针尖和样品相对于参比电极之间的电位
电流范围	±100 pA, 1 nA, 10 nA, 100 nA, 1 μA, 10 μA, 100 μA, 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 2A
最大电流	± 2 A 针尖和样品上的电流
电流分辨率	0.0015 % 满量程, 30 pA 在 1 μA 范围, 3 fA 在 100 pA 范围 (针尖和样品)
电流噪声	< 30 fA 在 1 kHz 带宽 100 pA 电流范围 (针尖和样品)
电位分辨率	305 μV
电位精度	1 mV
A / D 分辨率	16 位 A/D 数据采集卡 5μs 最少采样时间间隔记录双通道数据
模拟输出通道	所有的模拟输出通道可提供±10 V 满量程, 16位分辨率, BNC 连接端口 2个模拟输出端口: 针尖和样品电流 2个模拟输出端口: 针尖和样品电位 2个自由模拟输出端口: (DA-0, DA-1)
模拟输入通道	3个附加的A/D输入通道, 从外部设备记录信号
与主计算机连接方式	USB 2.0 连接

## References

- 1) Scanning Electrochemical Microscopy, edited by Allen J. Bard and Michael V. Mirkin. Marcel Dekker Inc., New York (2001)
- 2) C. Cougnon, K. Bauer-Espindola, D.S. Fabre, J. Mauzeroll:  
Development of a Phase-Controlled Constant-Distance Scanning Electrochemical Microscope,  
Anal.Chem., 2009, 81(9), 3654-3659.
- 3) Mezour, M.A., Cornut, R., Hussien, E.M., Morin, M., Mauzeroll, J.:  
Detection of hydrogen peroxide produced during the oxygen reduction reaction at self-assembled thiol-porphyrin monolayers on gold using SECM and nanoelectrodes, Langmuir, 2010 Aug 3, 26(15):13000-6
- 4) Cornut, R., Mayoral, M., Fabre, D., Mauzeroll, J.:  
Scanning electrochemical microscopy approach curves for ring microelectrodes in pure negative and positive feedback mode, J. Electrochem. Soc., Volume 157, Issue 7, pp. F77-F82 (2010)
- 5) Cougnon, C., Gohier, F., Belanger, D., Mauzeroll, J.:  
In situ formation of diazonium salts from nitro precursors for scanning electrochemical microscopy patterning of surfaces, Angewandte Chemie - International Edition, Angew. Chem. Int. Ed. 22, 4006-4008 (2010)
- 6) Cougnon, C., Mauzeroll, J., Blanger, D.:  
Patterning of surfaces by oxidation of amine-containing compounds using scanning electrochemical microscopy, Angewandte Chemie - International Edition, Volume 121, Issue 40, September 2009, pp 7531-7533
- 7) M. F. Garay, J. Ufheil, K. Borgwarth, J. Heinze :  
Retrospective chemical analysis of tree rings by means of the scanning electrochemical microscopy with shear force feedback, Phys. Chem. Chem. Phys., 2004, 4028 - 4033.



扫描探针技术	
2D- 扫描	在X、Y或Z轴方向的线性扫描的同时记录针尖电流、针尖电位、样品电流和样品电位。所有坐标轴的马达扫描速度规定为 :10 nm/s 至 100 $\mu$ m/s。用非常小的电极做逼近曲线只能使用Z-piezo马达，其扫描速率规定为1nm/s 至 50 $\mu$ m/s( 在100 $\mu$ m 范围内)，在X和Y轴方向有斜率补偿
3D- 扫描	在X、Y平面扫描的同时记录针尖电流、针尖电位、样品电流和样品电位，具有双斜率补偿（在X轴和Y轴同时进行）。
3D- 矩阵扫描	在每个矩阵点上执行MACROS指令和自由编程的PGF电化学技术，对于针尖和样品可选择不同的技术，在3D和矩阵扫描模式中，设置交替扫描方式可减少整体扫描时间。
等间距扫描	在X、Y平面上扫描并保持针尖和样品之间的距离恒定，Z方向协同移动的同时记录针尖电流、针尖电位、样品电流和样品电位，需要剪切力装置。
针尖下移	自动逼近样品，逼近步距规定为1 $\mu$ m 至 50 $\mu$ m ，逼近速度可以 50 $\mu$ m/s 至 1 nm/s
模板扫描	根据导入的HPGL文件所定义的结构进行扫描，用CAD软件设计的图形结构文件必须输出为HPGL格式的绘图文件。图形预览显示出结构图，尺寸和分辨率可进行设置。针尖按照XY方向的结构以固定的斜率和斜率校正参数进行扫描，使用Z马达在大范围内扫描。每个矩阵点上运行电化学方法（PGF）。因此模板扫描是矩阵扫描的特殊类型。

电化学技术	
预先设计的PGF程序	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cyclic Voltammetry 循环伏安法</li> <li>• Chronoamperometry 计时电流法</li> <li>• Step Pulse Voltammetry 阶跃脉冲电位法</li> <li>• Normal Pulse Voltammetry 常规脉冲伏安法</li> <li>• Tast Pulse Voltammetry 断续脉冲电位法</li> <li>• Differential Pulse Voltammetry 差分脉冲电位法</li> <li>• TAFEL-Plot 塔菲尔曲线伏安法</li> <li>• Linear polarization 线性极化扫描</li> <li>• Pitting corrosion test 点蚀测试</li> <li>• Polarization resistance measurement 极化电阻测试</li> </ul>
用户自定义方法	<p>所有的PGF程序均可被修改并且另存储为单独的实验技术方法，自由编程的脉冲发生器可用于设计电化学技术，如：脉冲、斜波、方波和正弦激发波形等，所有的电化学技术（PGF）都可用于矩阵扫描模式和模板扫描模式。</p> <p>POTMASTER软件中Lock- in模块可用于在10mHz至20kHz频率范围内的交流阻抗测量，而且不需要任何附加硬件即可与矩阵扫描模式和模板扫描模式结合进行阻抗测量。</p>

## 剪切力装置SFU 3：控制硬件指标

频率范围	0 kHz - 1 MHz
相位检测	0° - +180°
压电驱动的高频激发振幅	正弦信号 0 - ±10 Vpp
在接收压电上的电压输入	0 V - 1 V RMS
响应时间	同时检测相位和振幅的时间为10ms

## 剪切力装置SFU 3：扫描扩展功能的软件指标

可选择的频率	10 kHz - 1 MHz
可选择的扫描频率范围	1 kHz - 990 kHz
数据点数/频率扫描	500 - 5000 采样点数
频率扫描速率	每次采样 25 ms , 全部扫描 12.5 sec.(500 采样点数) 或 125 sec (5000 采样点数)
频率分辨率	在 100 kHz 带宽：200 Hz (500 采样点数) 或 20 Hz (5000 采样点数)
激发振幅	正弦信号 0V - 10V
标定距离	最大 5 μm, 最小 1 nm 标定步距
调节速度	10 ms - 100 ms 在等间距扫描模式中每一步的调整时间



HEKA Elektronik  
Dr. Schulze GmbH  
Wiesenstraße 71  
D-67466 Lambrecht/Pfalz  
Germany

*Phone* +49 (0) 63 25 / 95 53-0  
*Fax* +49 (0) 63 25 / 95 53-50  
*Web Site* <http://www.heka.com>  
*Email* [sales@heka.com](mailto:sales@heka.com)  
[support@heka.com](mailto:support@heka.com)

HEKA Electronics Incorporated  
643 Highway #14  
R.R. #2  
Chester, NS B0J 1J0  
Canada

*Phone* +1 902 624 0606  
*Fax* +1 902 624 0310  
*Web Site* <http://www.heka.com>  
*Email* [nasales@heka.com](mailto:nasales@heka.com)  
[support@heka.com](mailto:support@heka.com)

HEKA Instruments Inc.  
2128 Bellmore Avenue  
Bellmore, New York 11710-5606  
USA

*Phone* +1 516 882 1155  
*Fax* +1 516 467 3125  
*Web Site* <http://www.heka.com>  
*Email* [ussales@heka.com](mailto:ussales@heka.com)  
[support@heka.com](mailto:support@heka.com)