

XJTLU 自动测试系统使用手册

本测试系统共有 7 个文件（如图 1），对应 7 个不同的测试。本手册首先会介绍这 7 个文件分别对应的测试内容，然后将在后面对每一个文件的测试参数进行逐一介绍。

ID-VG Bias.py 是对 TFT 进行 ID-VG 偏压测试的文件，可以在偏压时间的对数比例（log scale）上多次测试 ID-VG，测试结果将会储存在与该文件相同的文件目录下的 ID-VG Bias.xls 文件中。该文件每次被打开后只能执行一次测试，开启新的测试需要重新打开文件。

ID-VG multi testing.py 是对 TFT 进行 ID-VG 测试的文件，该文件可以进行偏压测试，但主要是用于粗略 TFT 转移特性。该文件可以在输入一次参数或更改参数后无限次测试，无需重新打开关闭文件。

Pulse Count ID-VG.py 是对 TFT 施加特定数量的 Pulse 偏压后的 ID-VG 特性变化测试的文件，该文件对 TFT 施加 Pulse 电压，然后在 Pulse 结束后测量一次 ID-VG 曲线，测试结果存储在同一文件夹内名为 Pulse Count ID-VG.xls 的文件中。

Pulse duration ID-VG.py 是对 TFT 施加特定时间的 Pulse 偏压后的 ID-VG 特性变化测试的文件，该文件对 TFT 施加 Pulse 电压，然后在 Pulse 结束后测量一次 ID-VG 曲线，测试结果存储在同一文件夹内名为 Pulse duration ID-VG.xls 的文件中。

Pulse duration.py 是对 TFT 施加特定时间的 Pulse，不进行任何测试。

Pulse Count.py 是对 TFT 施加特定数量的 Pulse，不进行任何测试。

Vread.py 是对 TFT 的 Gate 和 Drain 施加一个短时间的固定电压，测量 ID。可以在对数比例（log scale）时间上多次测试 ID。

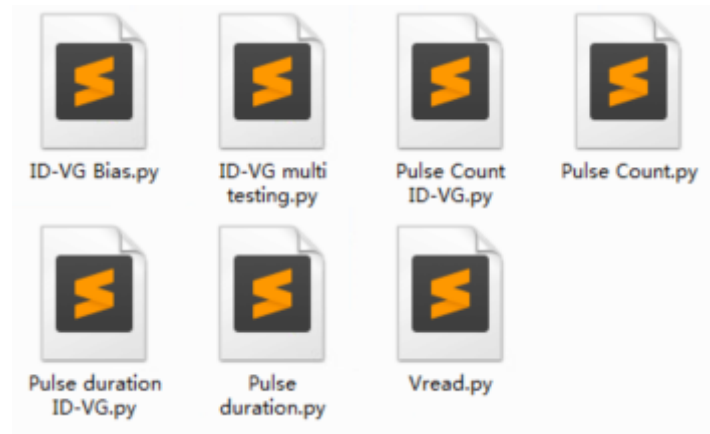


图 1 自动测试系统的文件

一、如何连接仪器

本手册是基于于西交利物浦大学公共楼 P021 洁净测试间中 Keysight B1500A 开发的测试系统，所有测试有关外部硬件连接仅针对该仪器，若应用于其他仪器应当做出相应改变。

本系统中，B1500A 的 SMU1 为 Channel 3，Channel 3 的 Force 接口为 Drain；SMU2 为 Channel 4，Channel 4 的 Force 接口为 Gate；地面为 Channel 0，Channel 0 的 Force 接口为 Source。Pulse 发出源为 SPGU，位于 Channel 1。Keysight B1500A 的 Channel 排布为自下而上，从 Channel 开始递增，故 Channel 3 为自下而上数第四行。

为了保证测试系统可以在 SPGU 和 SMU 中切换工作，本测试系统必须链接选择器。位于 Channel 3 Force 的 SMU1 接口需要连接到选择器上的 CH2 SMU 输入，位于 Channel 4 Force 的 SMU2 接口需要连接到选择器上的 CH1 SMU 输入，位于 SPGU 的接口需要连接到 CH1 PGU 输入。连接完成后使用三轴线将选择器上的 CH1 输出接口连接到探针台作为 Gate 输出，选择器上的 CH2 输出接口连接到探针台作为 Drain 输出，Keysight B1500A Channel 0 GND 的 Force 接口连接到探针台做 Source 输出。连接完毕后，接通 Keysight B1500A 和选择器的电源，可以开始进行测试。

二、如何运行一个测试

我们以 ID-VG Bias.py 为例，开启一个测试，首先我们先双击该.py 代码文件图标，代码文件自动被 Sublime 编辑器打开，点击上方功能菜单中的 Tools，再点击 Build，代码开始运行。

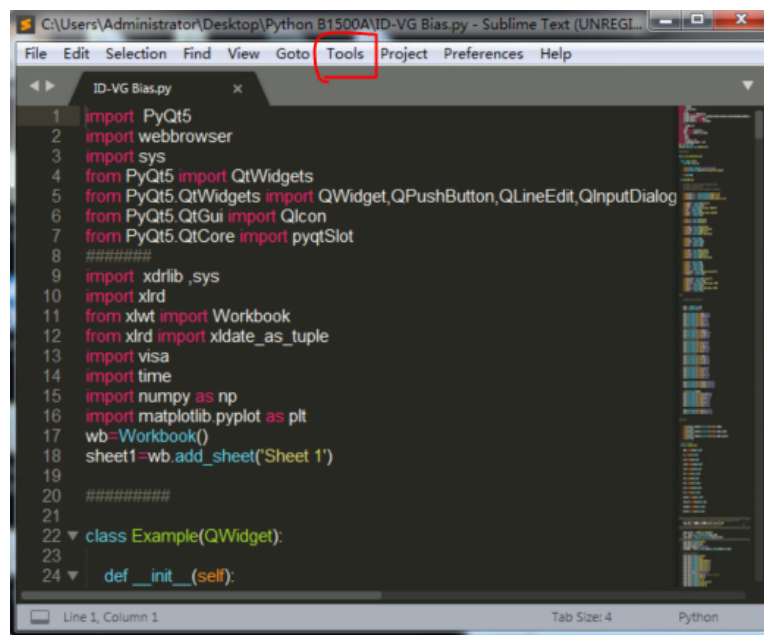


图 2 打开代码文件

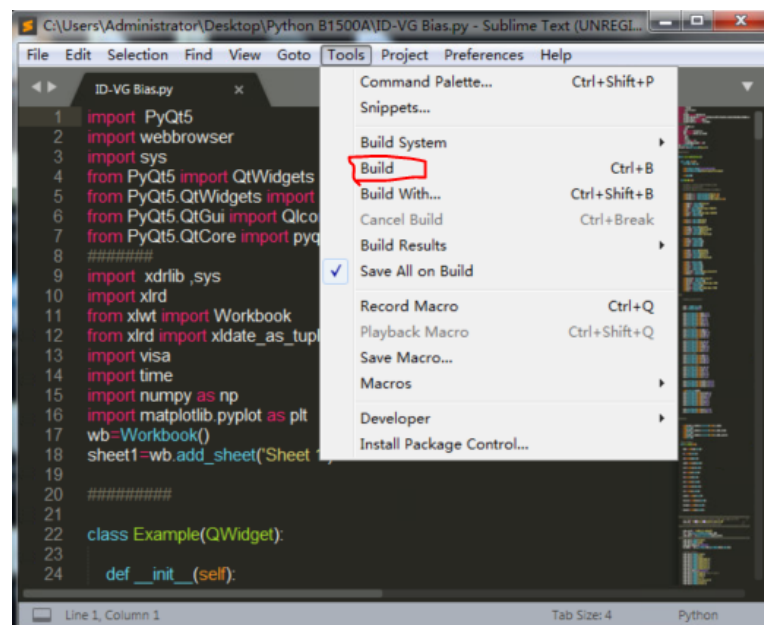


图 3 运行代码文件

第二种方式是在打开代码文件 Sublime 界面后，直接 Ctrl+B 运行文件。

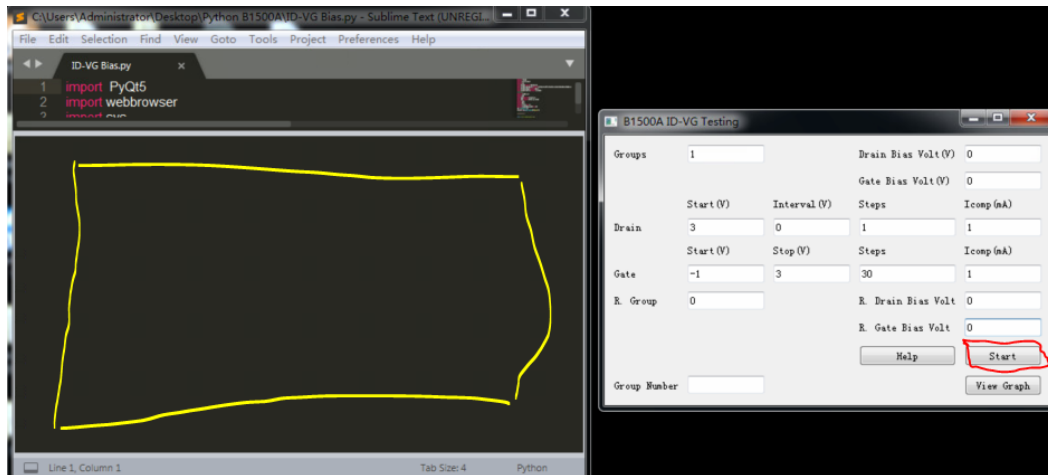


图 4 输入测试参数

文件运行后，我们会看到试验参数界面和 Sublime 的输出界面会同时出现。我们需要在试验参数界面输入实验参数，然后点击 Start 按钮，开启测试。测试过程及结果会在 Sublime 的输出界面中显示（图 4 黄色区域）。

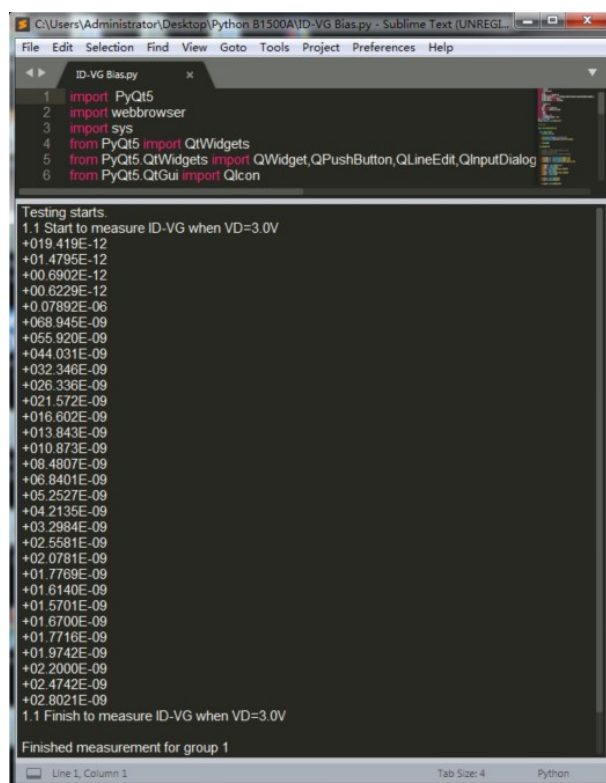


图 5 获取测试结果

测试结束后，根据不同的测试文件，实验结果可以在输出界面或者与测试代码文件相同的文件夹下的同名 excel 文件中找到。

三、测试代码文件的参数设定

(1) ID-VG Bias.py

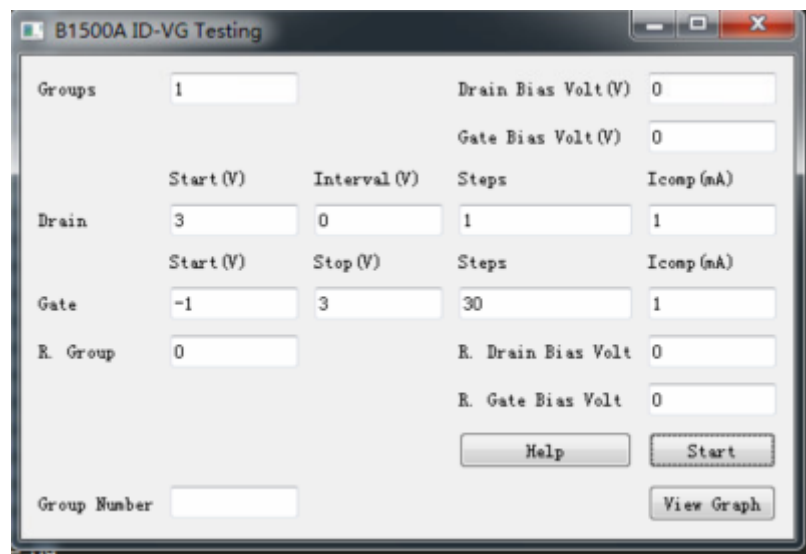


图 6 ID-VG Bias.py 参数界面

ID-VG Bias 偏压测试的测试流程为：测量一组 ID-VG 曲线，给予特定时间偏压，再测量一组 ID-VG 曲线，再给予特定时间偏压，如此往复直达到达设定的偏压时间。用户还可以选择在偏压测试结束之后给予 Relaxation 测试，Relaxation 中可以选择有偏压或者零偏压，过程依旧为反复测试 ID-VG 和给予偏压/零偏压，直至达到设定时间。

图 6 位 ID-VG Bias 测试的参数界面，Group 为组数，表示偏压测试需要进行的时间，该测试的偏压时间是由组数来表示，组数与偏压时间的关系可以参照表 1。例如，在表 1 中，Group 12 中，Waiting Time After Testing 是指在第 11 组测试和第 12 组测试之间需要给予的偏压时间，Accumulated Biasing Time 为在第 12 组测试结束之后的总偏压时间。所以如果用户想要进行 10,000 秒的偏压测试，用户需要在 Group 后填入数字 12。如不想进行偏压可以填入 1，意为在第一个 ID-VG 测量之后直接结束测试。

Groups	Waiting Time After Testing (s)	Accumulated Biasing Time (s)
1	1.1	2.1
2	2.5	4.6
3	5.3	10
4	11.5	21.5
5	24.8	46.4
6	53.5	100
7	115.4	215.4
8	248.7	464.1
9	535.8	1000
10	1154.4	2154.4
11	2487.1	4641.5
12	5358.4	10000
13	11544.3	21544.3
14	24871.5	46415.8
15	53584.1	100000
16	115443.5	215443.5

表 1 偏压测试时间与组数

在 Drain Bias Volt 和 Gate Bias Volt 中可以输入想要给予的偏压的大小（单位 V），如果只想给予一种偏压，则另一种偏压可以填入 0，如果不想给与偏压则两个位置都可以填入 0。例如，用户可以在 Gate Bias Volt 处填入 3，Drain Bias Volt 处填入 0，意为在偏压中，给予 Gate 3V 的电压，然而给予 Drain 0V 的电压（0V 的电压并不是断开）。

在 Drain 和 Gate 栏中，输入想要进行测试的参数，如在图 6 中，作者只想进行 $V_D=3V$ 的一组测试，于是 Drain 的 Start 设为 3，因为 Drain 不需要做出变化，故 Interval 为 0，这样 Drain 的电压只有 $V_D=3V$ 一个 Step；如果想要测定 $V_D=3V$ 和 $4V$ 两组 I_D-V_G ，则可以将 Start 设为 3V，Interval 为 1，Steps 为 2。在 Gate 栏中，作者希望进行从 -1V 到 3V 的测试，并且设定该 V_G 变化由 30 个点组成，故 Steps 可以填入 30。Icomp 为限流设定，单位为 mA。

请注意因为 Gate 栏涉及到 Start 与 Stop 两个不同的值，因此 Steps 最低为 2，否则系统会报错。并且请注意 Steps 数量的选择，如想要 Gate 电压区间为整数，若在 Gate 由 -1V 到 3V 变化的区间中，Steps 取 41 才是每一个取样点间隔为 0.1V。

R.Groups, R. Gate Bias Volt, R. Drain Bias Volt 意为在 Relaxation 中的参数设定。

Relaxation 对于 ID-VG 的测量将与偏压时的参数设定相同, 但 relaxation 的时间与给予电压可以由用户自行设定。若测试无需 relaxation 则三个输入框可都输入 0, 若需要特性时间特定电压的 relaxation, 则依旧参照表 1 进行时间设定, 该时间不必与偏压测试中的时间设定相同。Relaxation 中的电压设定也可以由用户自行设定, 如两个电压框都输入 0 则意味着无偏压 (0V, GND, 并不是断开)。

测试结束之后可以在 Group Number 处输入组号观察某一组的曲线情况, 注意该按键无法在测试进行中工作。该设定主要是便于对偏压测试变化的观察, 如用户可以先输入 1 观察偏压前的起始特性, 不关掉图片的情况下将 1 改为 2 并按下 View Graph, 图像变为同时包含 Group 1 和 Group 2 的两组图像, 以此类推, 全部偏压图像可以输出在同一张图上, 方便观察趋势变化。

测试结果将保存在与测试文件同名的 excel 文件中, 请注意如果需要保存该文件, 用户需要将该 excel 文件重命名或更改目录, 否则第二次测试结束之后将覆盖该文件。

(2) ID-VG Multi testing.py

该测试代码文件可以进行多次 ID-VG 测试并且支持每次测试之间更改参数而不需要重新关闭打开测试程序，但测试结果只会在代码结果输出栏中输出。其参数输入与使用方法与代码文件 (1) ID-VG Bias.py 相同，此处不再赘述。



图 7 ID-VG Multi testing.py

(3) Pulse Count ID-VG.py




图 8 Pulse Count ID-VG.py

该测试代码文件可以实现先对 Gate 施加给定数量的自设定 Pulse，紧接着测量一组或多组 ID-VG 图像。在一组或多组 ID-VG 图像中间可以加入 Gate 或者 Drain 的偏压，同时该文件也支持 relaxation 测试。该测试代码文件上半部分 ID-VG 部分逻辑与测试文件 (1) ID-VG Bias.py 完全相同，此处不再赘述。该测试文件下半部分对于输出 Pulse 的定义，用户需要自己输入对于 Pulse 的参数。Pulse 参数设定时要注意 $\text{Delay} + \text{Width} + \text{trailing}/0.8$ 不超过 Period 的原则（与 B1500 SPGU 完全一致，详情可以参照 B1500 Programming Guide）。或者最简单的方法可以打开 Easy Expert 中的 SPGU，选择 3-level Pulse 输出，然后进行 Pulse 设定并且查看 Pulse 图像，若果输入的参数不符合 B1500 规定，则图像上会显示 Invalid parameters，在保证输入参数符合 B1500 规定后，可以将参数一模一样的填入代码测试系统中对应的输入框（如图 9 所示）。输出格式允许科学计数法（如 $1\text{E}-5$ ）或者小数计数法（如 0.00001）。

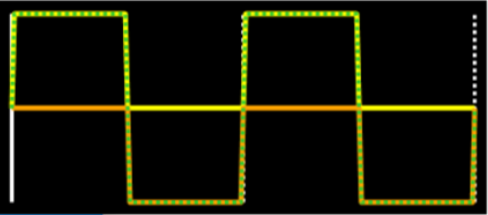
请注意 B1500 允许支持的 Period 设定为 $2\text{E}-8$ 到 10 秒；Base 和 Peak 的设定都允许 -40V 到 40V，分辨率为 1mV；Leading 和 Trailing 最小接受值为 $8\text{E}-9$ (8ns)；Count 为输出 Pulse 个数，支持从 1 到 1, 000, 000 次。Delay 和 Width 的设定只要保证 $\text{Delay} + \text{Width} + \text{trailing}/0.8 \leq \text{Period}$ 则可被接受。

无论是在 B1500 Easy Expert 中还是代码测试系统中，无效的参数输入都不会触发任何 Pulse 的输出，故请务必在测试开始前在 Easy Expert 中尝试输入有效的参数组合，并且得到需要的波形，再输入到测试代码中。请注意本系统采用的是 3 Level Pulse 输出，请务必在 Easy Expert 中选择相同的模式。只要参数相同，两者输出则完全一致。

测试结果会保存在同一文件目录下的同名 Excel 文件中。如需保存，需要重命名文件或者更改文件位置，否则在新的测试开始时，文件将被新文件覆盖。

Global Settings		Operation	
Period :	1 us	<input type="radio"/> Free Run	<input checked="" type="radio"/> PULSE COUNT
			1
		<input type="radio"/> Duration	1 us
<div>Load Z...</div> <div>Pulse Switch...</div>			

Pulse Settings			
SPGU setup view order : <input type="button" value="Up"/> <input type="button" value="Down"/>			
Unit :	Primary Pulse		Additional Pulse
SPGU1:HV	Base :	0 V	0 V
	Peak :	3 V	-3 V
VName :	Delay :	0 s	500 ns
SPGUV1	Width :	490 ns	490 ns
Type :	Leading :	8 ns	8 ns
3-Level Pulse	Trailing :	8 ns	8 ns



B1500A ID-VG Testing					
Groups	1	Drain Bias Volt(V)	0		
		Gate Bias Volt(V)	0		
Drain	Start(V)	Interval(V)	Steps	Icomp(mA)	
	3	0	1	1	
Gate	Start(V)	Stop(V)	Steps	Icomp(mA)	
	-1	3	30	1	
R. Group	0	R. Drain Bias Volt	0		
		R. Gate Bias Volt	0		
			<input type="button" value="Help"/>	<input type="button" value="Start"/>	
Group Number		<input type="button" value="View Graph"/>			
Period	1E-6	Duration			
	Delay	Base	Peak	Width	Leading
Primary	0	0	3	4.9E-7	8E-9
Additional	5E-7	0	-3	4.9E-7	8E-9

图 9 Pulse 输入参数设定

(4) Pulse Duration ID-VG.py

图 10 Pulse Duration ID-VG.py

该测试基本逻辑与测试文件 (3) Pulse Count ID-VG.py 完全一致，此处不在进行赘述。唯一区别为本系统支持 Pulse 按照时间输出，并不是个数。例如，用户需要输出 1500 秒某一个特定 Pulse，则应选用本系统。

Pulse 输出时间在 Duration 框中设定，B1500A 支持从 1E-6 到 31,556,926 秒（1 年）的 Pulse 输出。分辨率为 1E-8 秒。

测试结果会保存在同一文件目录下的同名 Excel 文件中。如需保存，需要重命名文件或者更改文件位置，否则在新的测试开始时，文件将被新文件覆盖。

(5) Pulse Count.py

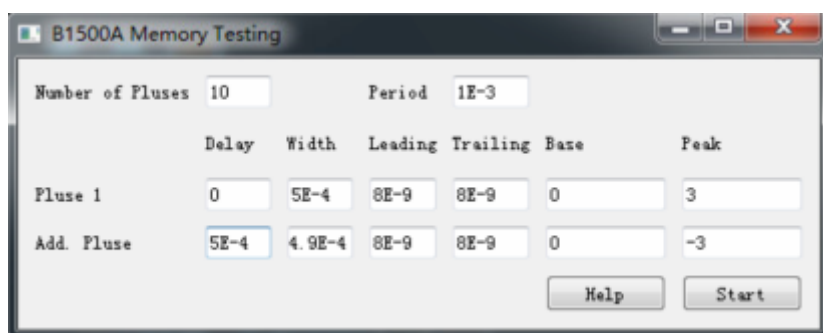


图 11 Pulse Count.py

该代码测试文件支持 3 Level Pulse 的按照个数输出，只输出 Pulse，不会进行任何测试，参数输入可以参照测试代码文件 (3) Pulse Count ID-VG.py 此处不再赘述。该文件可以在不关闭的情况下反复使用。

(6) Pulse Duration.py

该代码测试文件支持 3 Level Pulse 的按照时间输出，只输出 Pulse，不会进行任何测试，参数输入可以参照测试代码文件 (4) Pulse Duration ID-VG.py 此处不再赘述。该文件可以在不关闭的情况下反复使用。

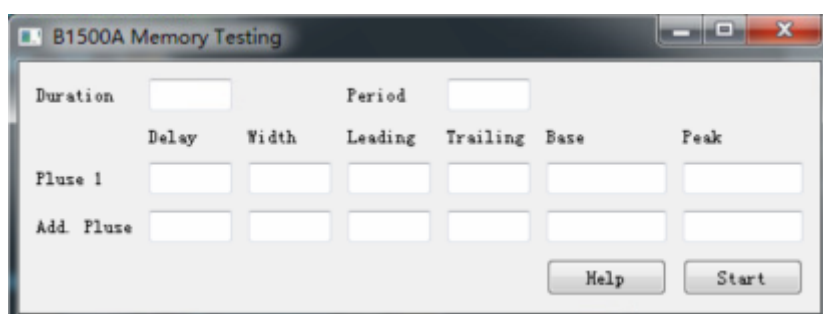


图 12 Pulse Duration.py

(7) Vread.py

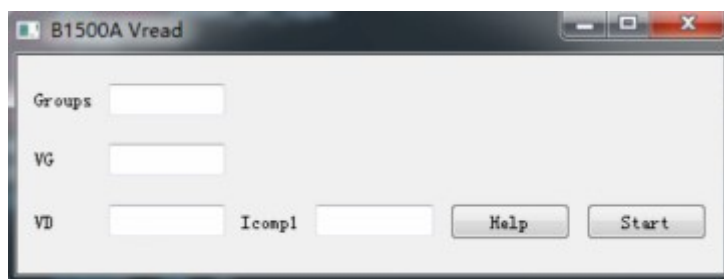


图 13 Vread.py

该测试系统可以根据表 1 中的偏压测试时间, 进行对数时间间隔下的电流测量。注意本系统仅测量一点处的电流, 具体流程为: 给予一个短时设定的 VG 和 VD, 测量 ID, 测量结束后可以 VG 和 VD 同时变为 0V, 等待相应的时间间隔后开始下一次 ID 测试, 如此往复。Icomp 设定的为 Drain 的电流限流, 单位为 mA。测试结果会在代码文件输出窗口显示, 不会进行保存, 该测试可以不关闭文件反复使用。

四、故障处理

本测试系统经过作者反复多次测试与长时间的使用，通常在正常使用下不会出现任何问题。

但请注意由于 B1500A 的记忆性，如果前序代码参数输入有问题导致系统报错，该错误会在清除 B1500A 系统记忆性之前反复报错（即使后续代码无错也会收到前序报错）。错误的

发生往往是因为使用者在未仔细阅读用户手册或操作不熟悉造成了不当操作（如同时运行两个程序，不当输入参数等），所以请用户务必在使用前阅读用户手册，保证参数输入正确。

发生错误后解决方案有两种，第一个是打开 Keysight Connection Expert 找到对应仪器，右键点击选择 Send Command to Instrument，进入界面后选择 Device Clear，多点几次后系统记忆性会被清除，测试可以正常进行。如果系统错误仍然没有被消除，则需重启 B1500A 及电脑，不过该情况极少发生。

如果发生用户无法解决的问题，可以联系开发者进行协助。

邮箱：collinssongchn@outlook.com 宋涛