

近代物理实验报告——材料形貌及光学性质表征

物理 4+4 胡喜平 U201811966 hxp201406@gmail.com <https://hxp.plus/>

摘要：本次实验主要练习原子力显微镜和可见分光光度计的使用，并用这两个仪器测量材料的表面形貌和禁带宽度。

关键词：原子力显微镜、禁带宽度、半导体、材料形貌的测量

一、引言

【实验背景】

原子力显微镜是一种利用分子间相互作用的引力或者斥力来对材料表面形态进行扫描的一种显微镜，它的分辨率在纳米量级，在材料科学上有广泛应用。而禁带宽度是半导体材料的一个重要性质，用来表示价键束缚的强弱，通常用光谱法进行测量。本次实验练习使用原子力显微镜和可见分光光度计测量材料的表面形貌和半导体的禁带宽度。

【实验目的】

学会安装原子力显微镜的探针，调节显微镜的激光，之后用原子力显微镜扫描不同材料的表面样貌。学会可见分光光度计的使用，用实验仪器的数据来计算材料的禁带宽度。

二、实验内容与数据处理

【实验原理】

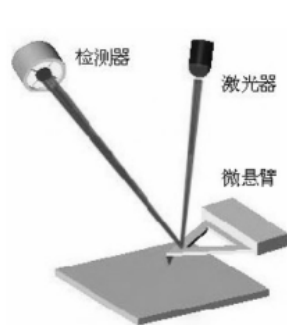
原子力显微镜是一种利用范德瓦尔斯力来探测样品表面形貌的仪器，装置的示意图如图（a）所示，微悬臂上的探针距离待测表面很近，待测表面的原子和探针上的原子之间有引力或者斥力，使得微悬臂微小形变。激光打在微悬臂上反射，使得微悬臂的微小变化造成反射激光角度变化，进而测量探针和原子之间的距离。

半导体吸收光子会发生跃迁，其中跃迁有直接跃迁和间接跃迁两种形式。图（b）中，入射光子能量大于 $E_g + \Delta E$ 时，发生像箭头 A 那样的直接跃迁。能量介于 E_g 到 $E_g + \Delta E$ 之间时，发生像箭头 B 那样的间接跃迁。

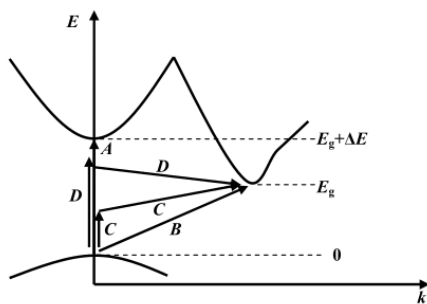
其中间接跃迁大致分为两种情况，C 过程是吸收声子的，D 过程是放出声子的。声子的能量是 E_p ，则 C 过程光子能量 $E_g - E_p$ ，D 过程光子能量 $E_g + E_p$ 。

对于间接跃迁，光子的吸收系数 α 与入射光子能量有平方关系，因此我们做图（c）可以求出光学禁带宽度 E_g 。

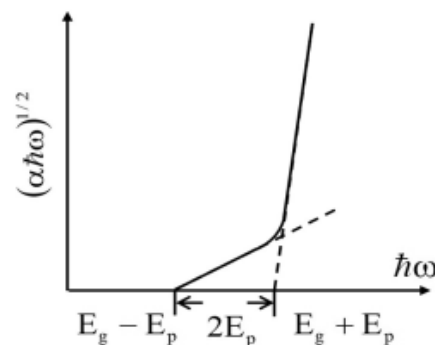
实验中能从仪器上获得的数据是透射率 T ，应当用 T 计算吸光度 A ，即



(a) AFM 测量原理示意简图



(b) 价电子的间接跃迁



(c) 价电子间接跃迁光学禁带宽度的计算

$$A = \lg \frac{1}{T}$$

之后运用朗伯-比尔定律, 即 A 正比与 α 。

【实验内容】

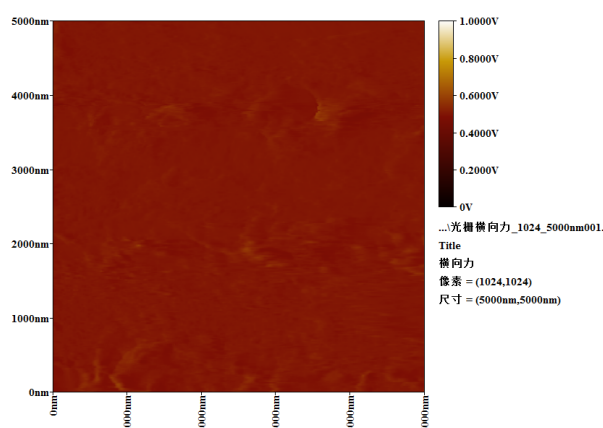
为原子力显微镜安装探针, 调整激光使激光照射在检测器的中央, 放入样品, 用电脑控制原子力显微镜对样品表面进行扫描, 每次扫描得到不同的图像。

使用可见分光光度计, 放入镀膜后的玻璃片和没有镀膜的玻璃片, 对样品进行扫描, 得到不同波长下的透射率。

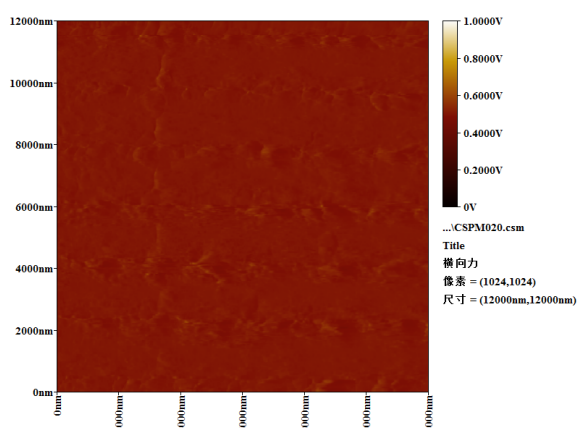
从可见分光光度计上拷贝不同波长下的透射率数据, 之后进行实验数据的处理, 得到样品上镀膜材料的禁带宽度。

【实验结果的分析 and 结论】

在调整好探针和光路以后, 首先扫描了光栅, 刚开始选择扫描范围为 5000nm, 后来发现没有扫描出几个周期, 决定扩大扫描范围为 12000nm。最终得到横向力的图像为

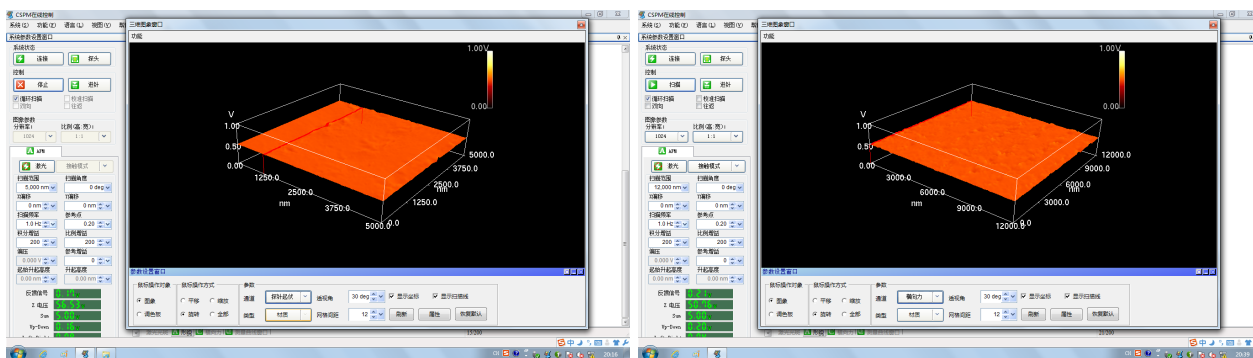


(a) 光栅横向力扫描结果, 横向力, 二维, 分辨率 1024, 扫描范围 5000nm



(b) 光栅横向力扫描结果, 横向力, 二维, 分辨率 1024, 扫描范围 12000nm

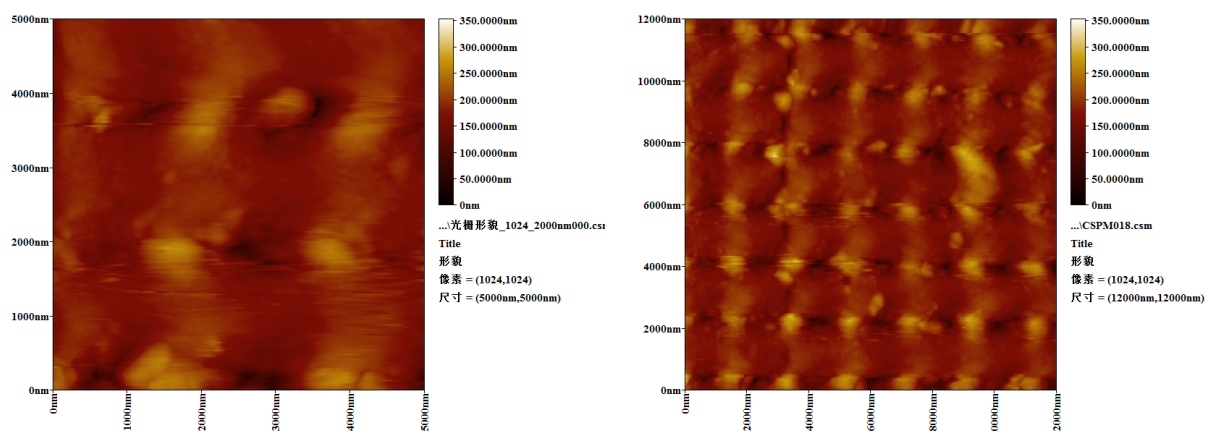
横向力三维图像为



(a) 光栅横向力扫描结果, 横向力, 三维, 分辨率 1024, 扫描范围 5000nm

(b) 光栅横向力扫描结果, 横向力, 三维, 分辨率 1024, 扫描范围 12000nm

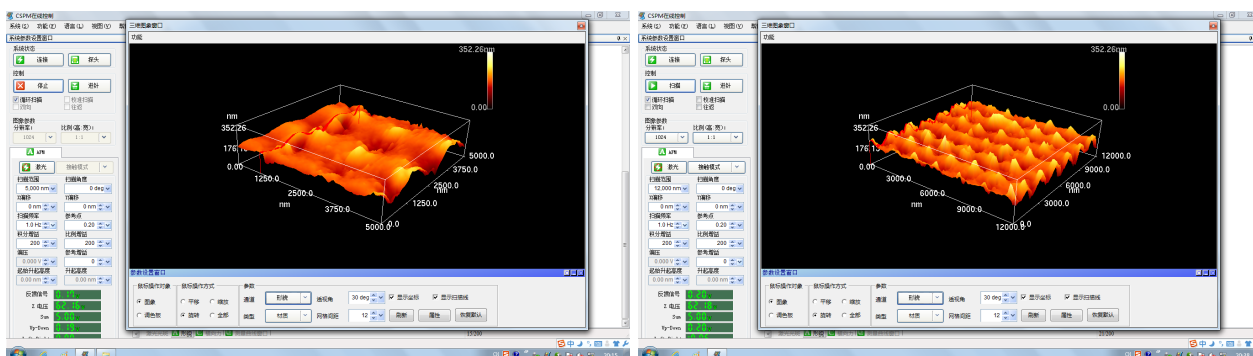
光栅表面样貌的图像为



(a) 光栅横向力扫描结果, 表面样貌, 二维, 分辨率 1024, 扫描范围 5000nm

(b) 光栅横向力扫描结果, 表面样貌, 二维, 分辨率 1024, 扫描范围 12000nm

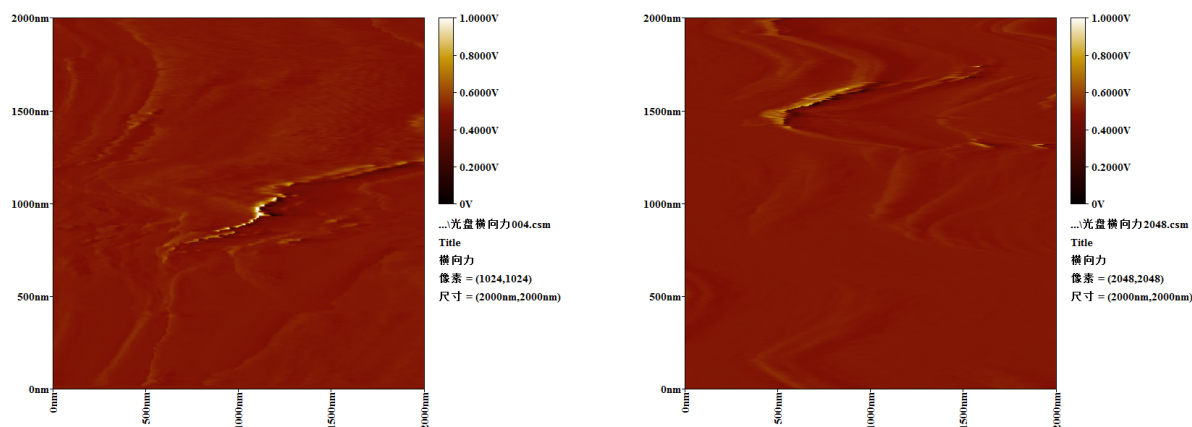
表面样貌三维图像为



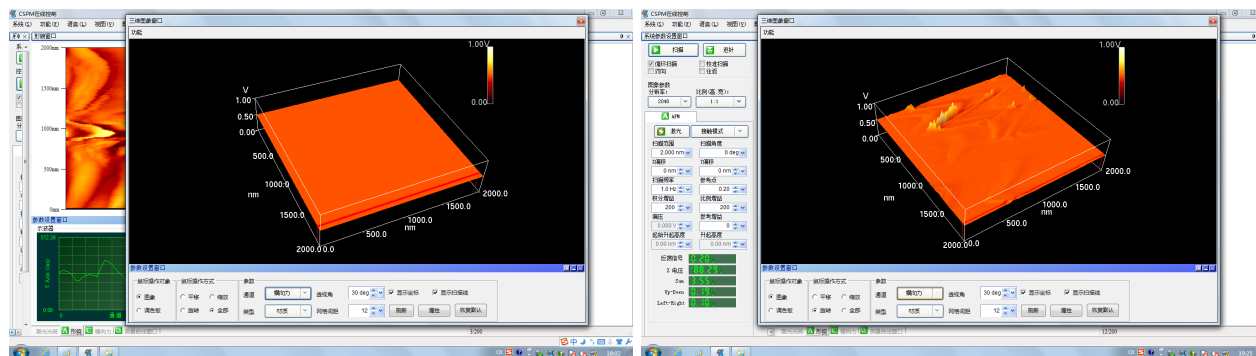
(a) 光栅横向力扫描结果, 表面样貌, 三维, 分辨率 1024, 扫描范围 5000nm

(b) 光栅横向力扫描结果, 表面样貌, 三维, 分辨率 1024, 扫描范围 12000nm

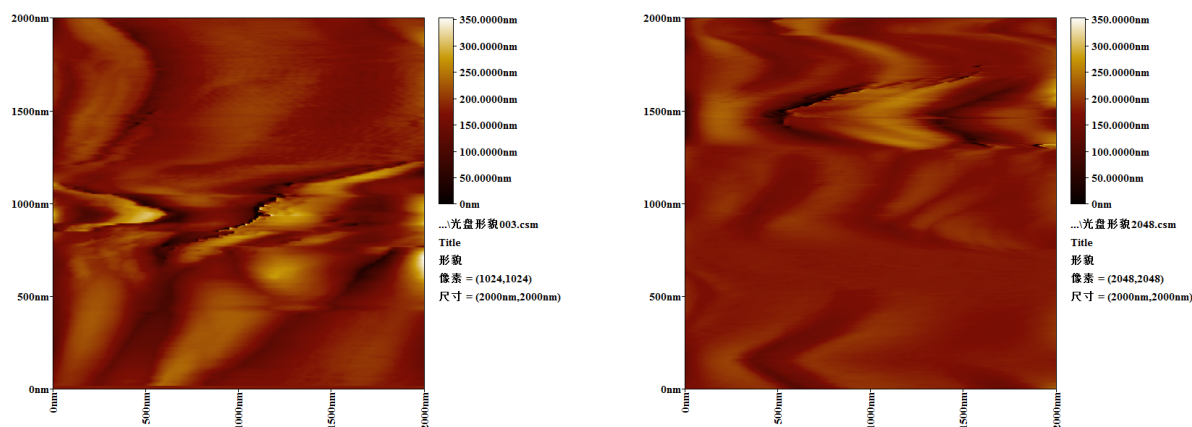
从图像中看出光栅的周期大致为 2000nm。之后对光盘扫描，使用不同分辨率



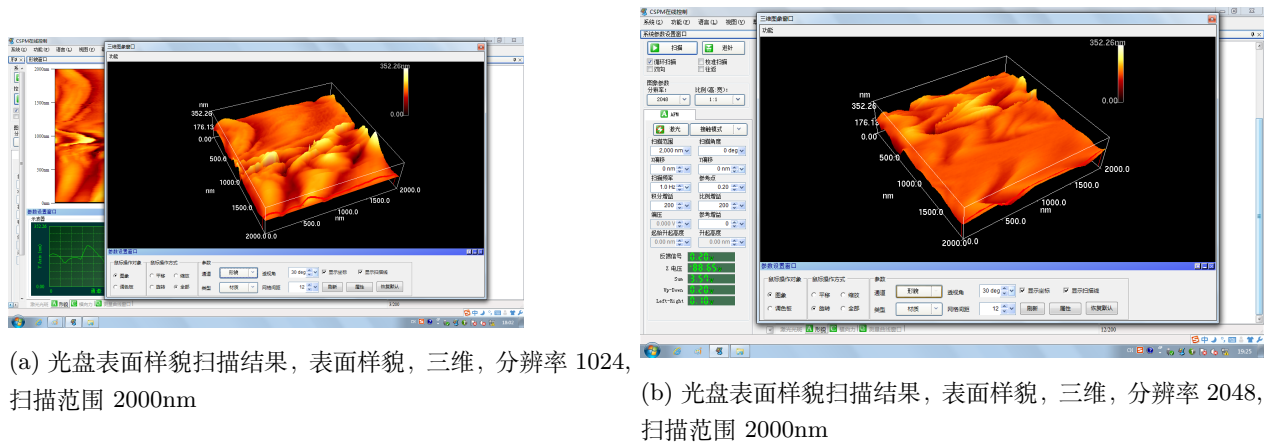
(a) 光盘横向往力扫描结果，横向往力，二维，分辨率 1024, 扫描范围 2000nm (b) 光盘横向往力扫描结果，横向往力，二维，分辨率 2048, 扫描范围 2000nm



(a) 光盘横向往力扫描结果，表面样貌，三维，分辨率 1024, 扫描范围 2000nm (b) 光盘横向往力扫描结果，表面样貌，三维，分辨率 2048, 扫描范围 2000nm



(a) 光盘表面样貌扫描结果，表面样貌，二维，分辨率 1024, 扫描范围 2000nm (b) 光盘表面样貌扫描结果，表面样貌，二维，分辨率 2048, 扫描范围 2000nm



之后是禁带宽度的测量，这个实验的难度主要是对数据的分析与处理。首先我们求的应当是膜的透光率，因此最开始只放玻璃片进行扫描，这就是镀膜 0 分钟的数据。之后扫描的是玻璃镀膜的数据，不是膜的透过率，而是膜和玻璃透过率的乘积。

具体实验的处理程序连同代码在附件，我也上传了一个在 GitHub，地址为：<https://github.com/hxp-plus/band-gap-fitting>
这是项目的目录












 hxp-plus commit 9af5afb 5 days ago 🕒 2 commits		
	data	commit 5 days ago
	figures	commit 5 days ago
	.gitignore	commit 5 days ago
	README.mp4	commit 5 days ago
	band_gap.m	commit 5 days ago
	create_dialog.m	commit 5 days ago
	find_closest.m	commit 5 days ago
	fit_and_plot.m	commit 5 days ago
	plot_fig.m	commit 5 days ago
	save_fig.m	commit 5 days ago

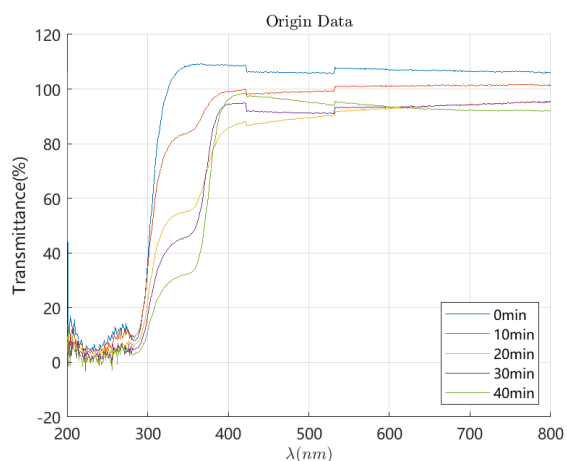
图 10: 禁带宽度数据处理程序项目目录

其中数据以 mat 文件格式保存在 data 目录下，程序运行的时候输出的图像都保存在 figures 目录下。程序会在 figures 目录下创建相应的文件夹，表明图像是什么，然后在创建的文件夹里面将画出的图像保存为 fig 绘图原始数据、eps 矢量图、png 位图三种格式。

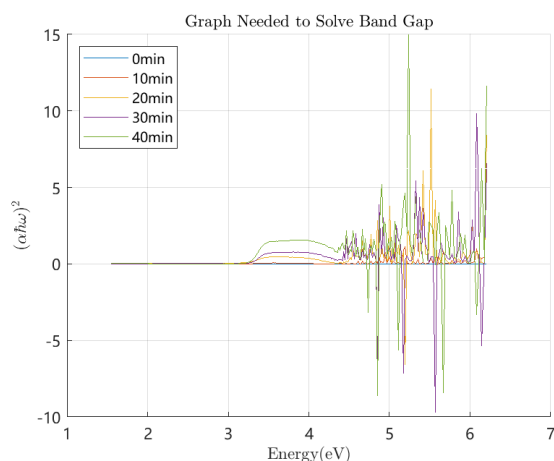
程序首先会绘制并保存原始图像，之后绘制求禁带宽度需要的图像，之后弹窗让用户选择范围对图像进行缩放，并绘制保存缩放的图像，最后会弹窗两次让用户选择线性拟合的范围，并绘制线性拟合后的图像。

具体程序的用法，我录制了一个视频 README.mp4，可以参考

这个程序先输出的两个图像如下



(a) 对原始数据进行绘图



(b) 绘制需要解禁带宽度的图

我们在弹出的输入框指定程序在 x 轴 3 到 3.5 之间缩放，得到缩放的图像如下

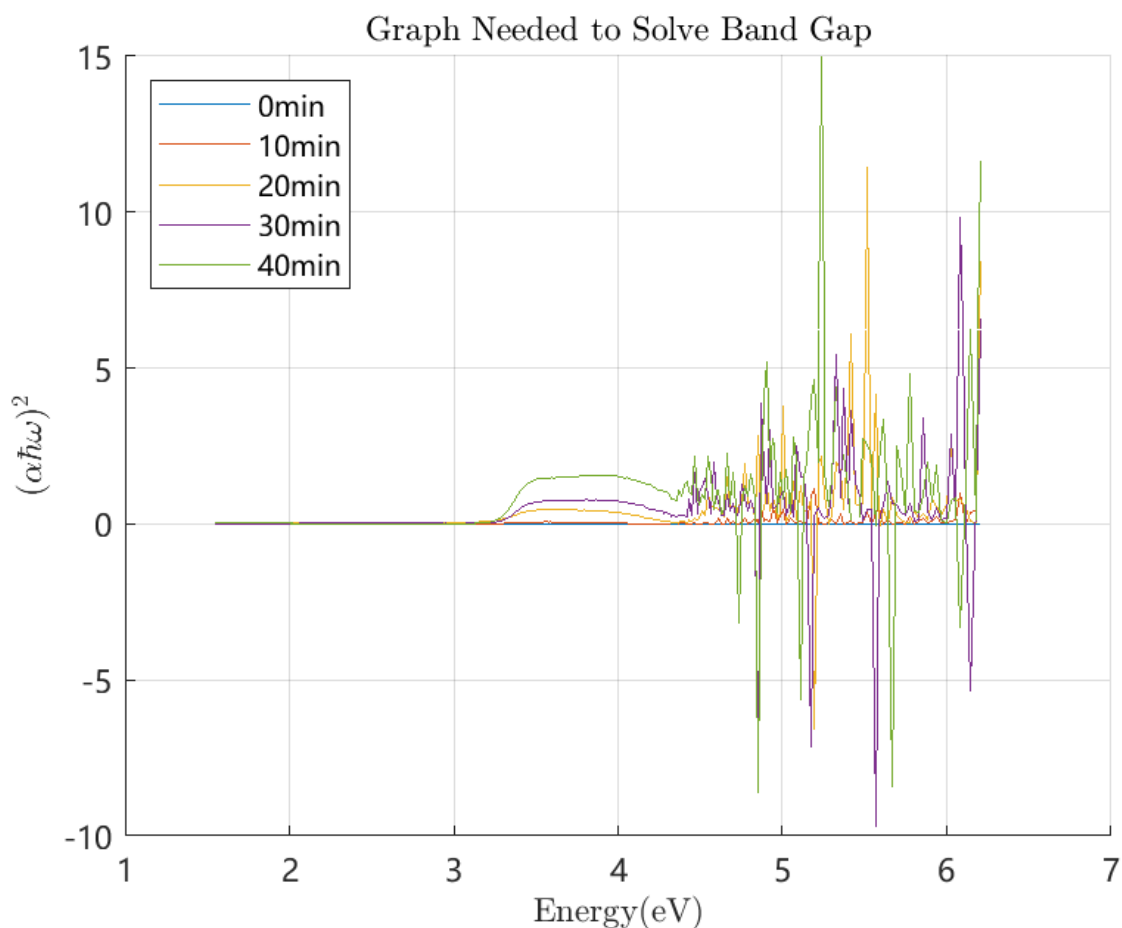
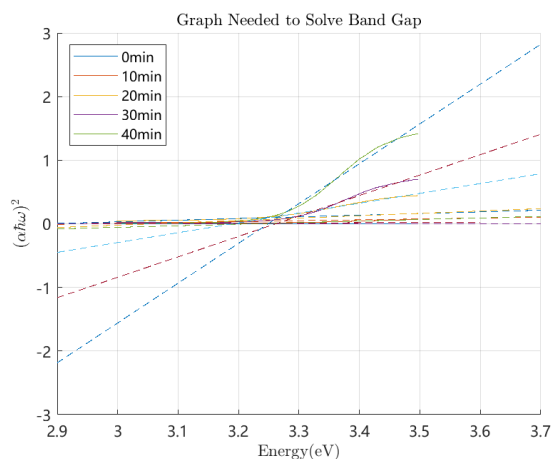
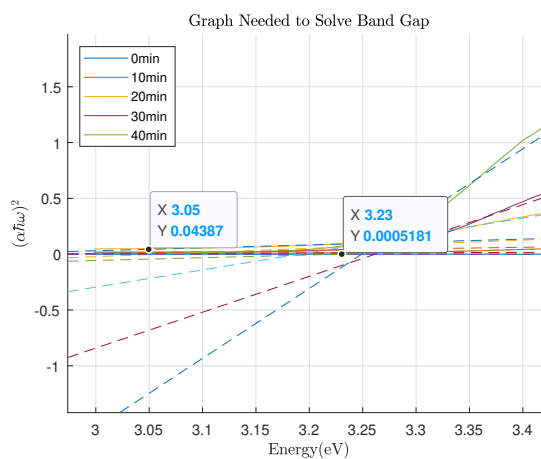


图 12: 程序缩放后的图像

之后程序弹出两个输入框，输入范围 3.05-3.25 和 3.3-3.5，进行线性拟合，得到下面的图像



(a) 线性拟合后的图像



(b) 线性拟合缩放过的图像

从图像上看出两段线性拟合大致与 x 轴相交于 3.05 和 3.23，取 3.05 和 3.23 的平均值 3.14 即禁带宽度。

【实验中遇到的问题及解决方法】

实验中遇到了原子力显微镜自动进针没有自动停止导致探针损坏的情况，应当是激光没有照射到悬臂上导致的。

三、参考文献

近代物理实验讲义