2019-2020 学年 第 二 学期

**实 验 报 告**

课程名称 EDA实训

系（部） 信息工程系

专业班级 电子信息科学与技术17-2

学生姓名 张厚今

学生学号 201723010237

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 实验名称 | | EDA实训 | | | |
| 实验目的 | | 练习PCB绘制 | | | |
| 实验内容 | | 根据原理图绘制PCB文件，将PCB文件投板 | | | |
| 实验仪器设备 | | 电脑、Altium Designer 软件、嘉立创助手 | | | |
| 姓 名 | | 张厚今 | | 组 别 |  |
| 同组实验者 | |  | | 实验日期 | 2020.06.05 |
| 指导教师 | | 田春鹏 | |  |  |
| 批阅意见  及 成 绩 | | |  | | |
| **实**  **验**  **步**  **骤** | 1 实验目的  2 实验原理  3 实验结果  4 实验总结 | | | | |

目录

[1 实验目的 4](#_Toc42271397)

[2 实验原理 4](#_Toc42271398)

[2.1 U盘设计原理 4](#_Toc42271399)

[2.1.1 SPI通信方式 4](#_Toc42271400)

[2.1.2 文件系统 5](#_Toc42271401)

[2.2 硬件框架 5](#_Toc42271402)

[2.2.1 闪存芯片 5](#_Toc42271403)

[2.2.2 稳压芯片 6](#_Toc42271404)

[2.3 PCB生产工序 7](#_Toc42271405)

[2.4 PCB板层含义及功能 8](#_Toc42271406)

[3 实验过程 9](#_Toc42271407)

[3.1 绘制原理图 9](#_Toc42271408)

[3.1.1 下载封装库 9](#_Toc42271409)

[3.1.2 新建工程 11](#_Toc42271410)

[3.1.3 加载封装库 12](#_Toc42271411)

[3.1.4 模块绘制 15](#_Toc42271412)

[3.1.5 原件编号 19](#_Toc42271413)

[3.1.6 编译工程 21](#_Toc42271414)

[3.2 绘制PCB 22](#_Toc42271415)

[3.2.1 绘制板子形状 22](#_Toc42271416)

[3.2.2 导入原件 27](#_Toc42271417)

[3.2.3 原件排布 29](#_Toc42271418)

[3.2.4 原件布线 30](#_Toc42271419)

[3.2.5 补泪滴 35](#_Toc42271420)

[3.2.6 铺铜 37](#_Toc42271421)

[3.2.7 DRC检查 39](#_Toc42271422)

[3.2.8 添加丝印并检查 42](#_Toc42271423)

[3.2.9最终效果 44](#_Toc42271424)

[3.3 PCB打板 46](#_Toc42271425)

[3.3.1 导出文件 46](#_Toc42271426)

[3.3.2 填写订单 47](#_Toc42271427)

[3.3.3 原件贴片 48](#_Toc42271428)

[4 实验结果 51](#_Toc42271429)

[5 附录 52](#_Toc42271430)

# 1 实验目的

在日常生活中，U盘作为存储介质非常常见。U盘是一种使用USB接口连接计算机，并通过闪存进行数据存储的小型便携存储设备。本次实验将使用STM32单片机，配合W25Q 128闪存芯片，绘制电路板并移植文件系统，制作一个简易的U盘存储介质。

# 2 实验原理

## 2.1 U盘设计原理

本次实验以STM32F103作为主控芯片，以W25Q128作为Flash闪存芯片。主控芯片与闪存之间通过SPI方式进行数据通信。向芯片中移植FAT文件系统，可以将数据以文件形式存储，实现简易的U盘功能。

### 2.1.1 SPI通信方式

SPI协议是由摩托罗拉公司提出的通讯协议，即串行外围设备接口，是一种高速全双工的通信总线。它的通讯速率较高，被广泛地使用在ADC、LCD等设备与MCU间通信的场合。SPI通讯使用三条总线及片选线，三条总线分别为SCK、MOSI、MISO，片选线为CS ，它们的作用介绍如下。

（1）CS片选线

SPI协议使用片选信号线来寻址。当主机要选择从设备时，把该从设备的片选信号线设置为低电平，该从设备即被选中。接着主机开始与被选中的从设备进行SPI通讯。

（2）SCK时钟信号线

时钟信号线用于通讯数据同步。它由通讯主机产生，决定了通讯的速率。不同的设备支持的最高时钟频率不一样，如STM32的SPI时钟频率最大为fpclk/2，两个设备之间通讯时，通讯速率受限于低速设备。

（3）MOSI主设备输出/从设备输入线

主机的数据从这条信号线输出，从机由这条信号线读入主机发送的数据，即这条线上数据的方向为主机到从机。

（4） MISO主设备输入/从设备输出线

主机从这条信号线读入数据，从机的数据由这条信号线输出到主机，即在这条线上数据的方向为从机到主机。

### 2.1.2 文件系统

使用SPI通信方式可以很方便地在Flash芯片上进行数据读写，但是像这样的直接存储数据会带来很大不便。如难以记录有效数据的位置，难以确定存储介质的剩余空间，以及难以确定以何种格式来解读数据等等。

更为高效的存储方式被称为文件系统，它是为了存储和管理数据，而在存储介质中建立的一种组织结构，这些结构包括操作系统引导区、目录和文件。常见的windows下的文件系统格式包括FAT32、NTFS、exFAT。在使用文件系统前，要先对存储介质进行格式化。格式化要先擦除原来内容，在存储介质上新建一个文件分配表和目录，文件系统就可以记录数据存放的物理地址，剩余空间等信息。

由于文件系统的存在，使我们在存取数据时不再是简单地向某物理地址直接读写，而是要遵循它的读写格式。本次实验通过在芯片中移植FAT文件系统，可以实现对文件的高效存储。

## 2.2 硬件框架

### 2.2.1 闪存芯片

本次实验的Flash闪存芯片选用W25Q128JVSIQTR芯片，其容量为16MB。芯片内部分为256个块，每个块大小为64K字节；每个块又分为16个扇区，每个扇区4K字节。W25Q128 的最少擦除单位为一个扇区，也就是每次必须擦除 4K 个字节。其硬件连接如下图2.1所示。

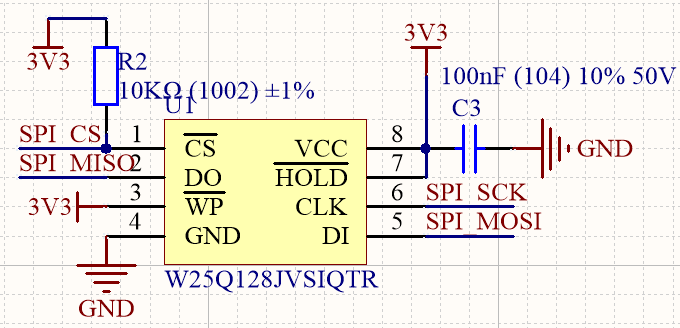


图2.1 闪存芯片

如上图所示，W25Q128封装的CS引脚是芯片的片选信号线，片选线低电平有效，所以外接了一个上拉电阻将电平拉高；DO引脚是芯片的MIOS主机输入线，主控芯片从这条线上读取数据；WP是写保护引脚，外接电源表示关闭写保护，开启数据写入使能；HOLD引脚是芯片的数据暂停引脚，低电平时会暂停数据传输，因此外接了一个高电平电源；CLK引脚是芯片的时钟信号线，用来与主控芯片保持通信频率；DI引脚是芯片的MOSI从设备输入线，主设备在该线将数据输出，从设备在该线接收数据。

### 2.2.2 稳压芯片

电脑的USB接口一般输出电压是5V，而芯片工作电压在3.3V左右，因此需要使用稳压芯片将5V的输入电压转换为3.3V的输出电压。本次实验中使用的稳压芯片是XC6206P332MR，如下图所示。

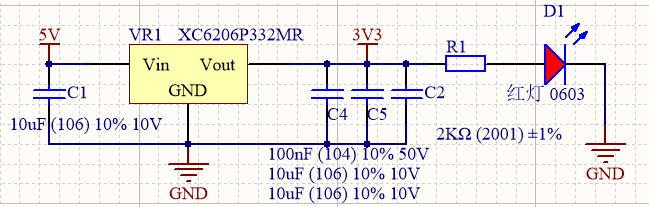


图2.2 稳压芯片

## 2.3 PCB生产工序

PCB生产的具体工作流程为：开料→钻孔→沉铜→图形转移→图形电镀→退膜→蚀刻→绿油阻焊层→添加丝印层→镀金手指→镀锡层→成型→测试→终检→包装寄送。

开料是指根据工程资料MI的要求，在符合要求的大张板材上裁切成符合客户要求的小块生产板料。流程为：大板料→按MI要求切板→锔板→啤圆角和磨边→开料完成。钻孔是指根据客户要求，在所开料的符合要求尺寸的板料上钻出所求的孔径。流程为：叠板销钉→上板→钻孔→下板→检查和修理。沉铜是利用化学方法在绝缘孔壁上沉积上一层薄铜。流程为：粗磨→挂板→沉铜自动线→下板→浸1%稀H2SO4→加厚铜。

图形转移是将生产菲林上的图像转移到料板上。图形转移分为蓝油和干膜，蓝油流程为：磨板→印第一面→烘干→印第二面→烘干→爆光→冲影→检查；干膜流程为：麻板→压膜→静置→对位→曝光→静置→冲影→检查。图形电镀是在线路图形裸露的铜皮上或孔壁上，电镀一层以达到要求厚度的铜层与要求厚度的金镍或锡层。流程为：上板→除油→水洗二次→微蚀→水洗→酸洗→镀铜→水洗→浸酸→镀锡→水洗→下板。

退膜是指用NaOH溶液退去抗电镀覆盖膜层，使非线路铜层裸露出来。水膜流程为：插架→浸碱→冲洗→擦洗→过机；干膜流程为：放板→过机。蚀刻是利用化学反应法将非线路部位的铜层腐蚀去除。绿油是将绿油菲林的图形转移到板上，起到保护线路和阻止焊接零件时线路上锡的作用。流程为：磨板→印感光绿油→锔板→曝光→冲影；磨板→印第一面→烘板→印第二面→烘板。字符是提供的一种便于辩认的标记。流程为：绿油终锔后→冷却静置→调网→印字符→后锔。

在插头手指上镀上一层要求厚度的镍金层，使之更具有硬度的耐磨性。流程为：上板→除油→水洗两次→微蚀→水洗两次→酸洗→镀铜→水洗→镀镍→水洗→镀金。喷锡是在未覆盖阻焊油的裸露铜面上喷上一层铅锡，以保护铜面不蚀氧化，以保证具有良好的焊接性能。流程为：微蚀→风干→预热→松香涂覆→焊锡涂覆→热风平整→风冷→洗涤风干。

成型是指通过模具冲压或数控锣机锣出客户所需要的形状。数据锣机板与啤板的精确度较高，手锣其次，手切板最低具只能做一些简单的外形。通过电子100％测试，检测目视不易发现到的开路，短路等影响功能性的缺陷。流程为：上模→放板→测试→合格→FQC目检→不合格→修理→返测试→OK→REJ→报废。通过100％目检板件外观缺陷，并对轻微缺陷进行修理，避免有问题及缺陷板件流出。工作流程为：来料→查看资料→目检→合格→FQA抽查→合格→包装→不合格→处理→检查OK。

## 2.4 PCB板层含义及功能

（1）信号层

信号层（Signal Layers）用于放置连接数字或模拟信号的铜膜走线。Altium Designer电路板可以有32个信号层，其中Top是顶层，Mid1～30是中间层，Bottom是底层。习惯上Top层又称为元件层，Botton层又称为焊接层。

（2）阻焊层

阻焊层（Soldermask Layer）是在铜层上面一层，这一层让PCB看起来是绿色的。阻焊层覆盖住铜层上面的走线，防止PCB上的走线和其他的金属、焊锡或者其它的导电物体接触导致短路。阻焊层的存在，使大家可以在正确的地方进行焊接 ，并且防止了焊锡搭桥。我们可以看到阻焊覆盖了PCB的大部分（包括走线），但是露出了银色的孔环以及SMD焊盘上锡，为了可以焊接。

（3）锡膏防护层

锡膏防护层（Pastemask layer）和阻焊层的作用相似，不同的是在机器焊接时对应的表面粘贴式元件的焊盘。Protel99 SE提供了Top Paste(顶层)和Bottom Paste(底层)两个锡膏防护层。主要针对PCB板上的SMD元件。如果板全部放置的是Dip(通孔)元件，这一层就不用输出Gerber文件了。在将SMD元件贴PCB板上以前，必须在每一个SMD焊盘上先涂上锡膏，在涂锡用的钢网就一定需要这个Paste Mask文件,菲林胶片才可以加工出来。Paste Mask层的Gerber输出最重要的一点要清楚，即这个层主要针对SMD元件，同时将这个层与上面介绍的Solder Mask作一比较，弄清两者的不同作用，因为从菲林胶片图中看这两个胶片图很相似。

（4）丝印层

白色的字符是丝印层（Silkscreen Layer）。在PCB的丝印层上印有字母、数字以及符号，这样可以方便组装以及指导大家更好地理解板卡的设计。我们经常会用丝印层的符号标示某些管脚或者LED的功能等。

（5）机械层和禁止布线层

机械层（Mechanical Layer）是定义整个PCB板的外观的，其实我们在说机械层的时候就是指整个PCB板的外形结构。禁止布线层（Keep-Out Layer）是定义我们在布电气特性的铜时的边界，也就是说我们先定义了禁止布线层后，我们在以后的布过程中，所布的具有电气特性的线是不可能超出禁止布线层的边界。

（6）钻孔层

钻孔层（Drill layer）提供电路板制造过程中的钻孔信息，如焊盘过孔就需要钻孔。一般文件会提供了Drillgride(钻孔指示图)和Drill drawing(钻孔图)这两个钻孔层。

# 3 实验过程

## 3.1 绘制原理图

### 3.1.1 下载封装库

由于需要向工厂投板，所以直接使用工厂的封装库会方便些。直接去嘉立创的码云仓库里查找封装文件即可。



图3.1 元件封装库

选择第一个“嘉立创SMT/JLCSMT\_LIB”可贴片元器件基础库，下载ZIP压缩包。

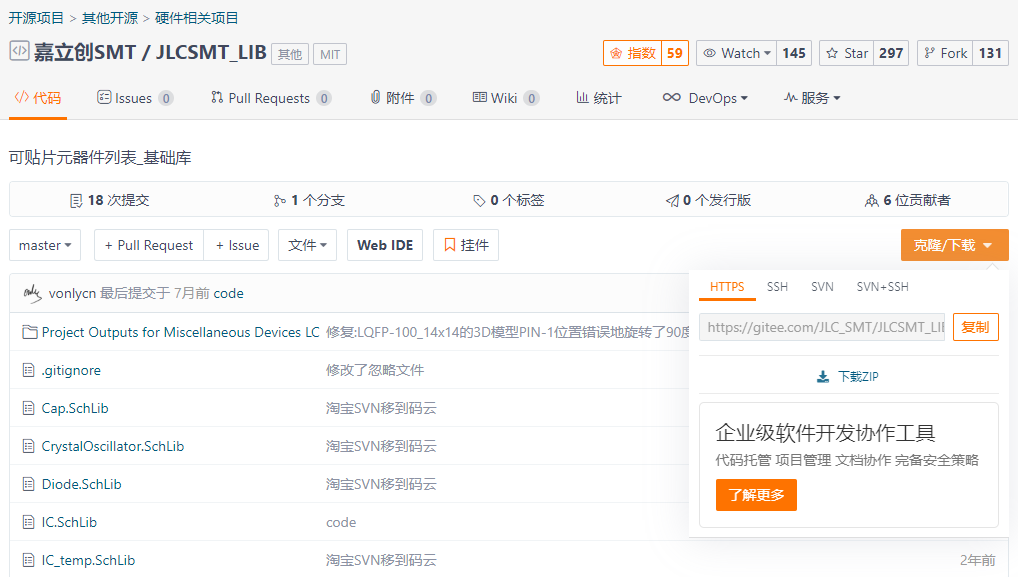


图3.2 封装库下载

将下载的ZIP文件解压，即可获得嘉立创的SMT贴片封装库。

### 3.1.2 新建工程

在Altium Designer软件中，新建一个PCB工程。工程模板选择默认，工程名设置为USB\_SPI\_Flash。

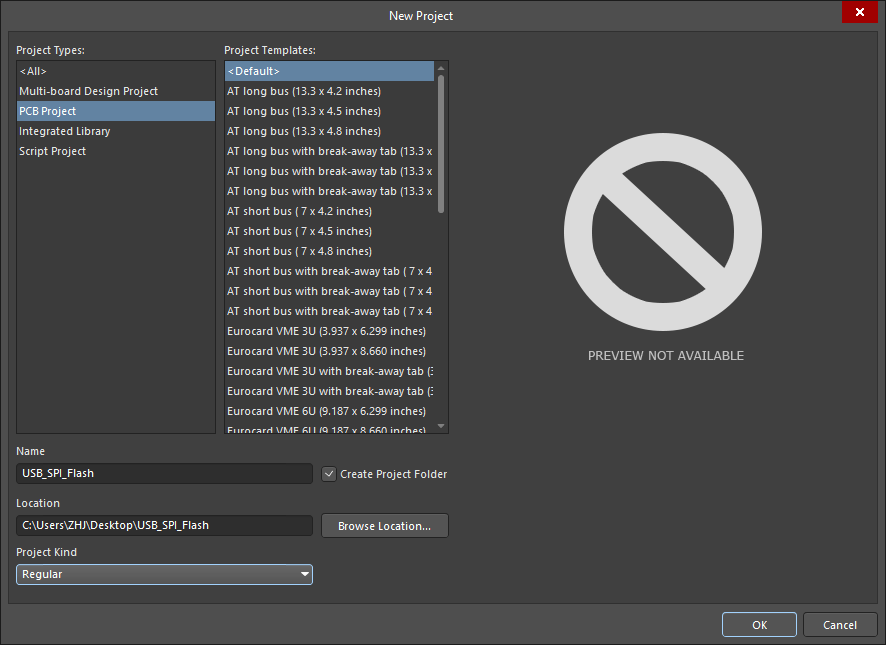


图3.3 创建工程

为工程添加一个原理图文件。

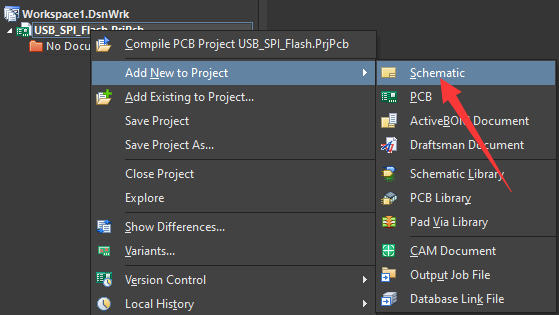


图3.4 添加原理图

将该原理图命名为USB\_SPI\_Flash并保存。

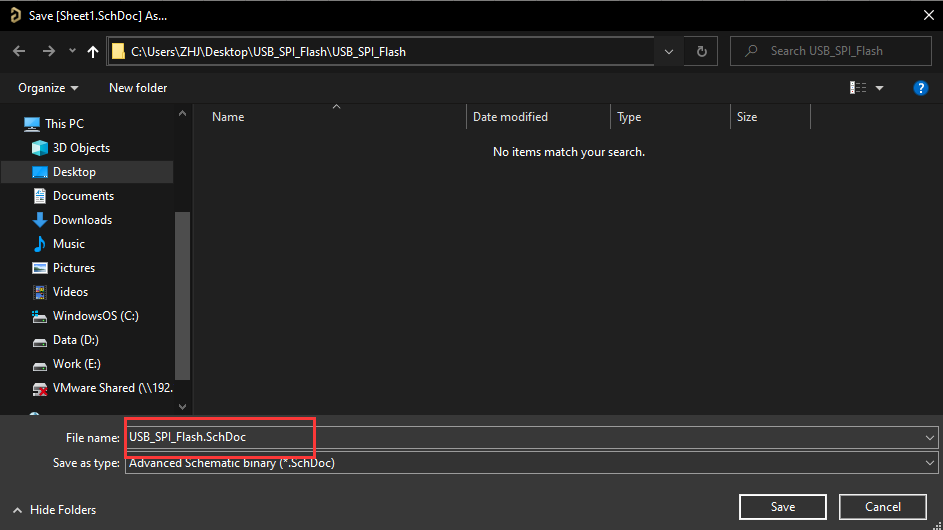


图3.5 原理图命名

### 3.1.3 加载封装库

在软件设置界面打开“已安装的元件库”界面，选择从文件安装文件库。

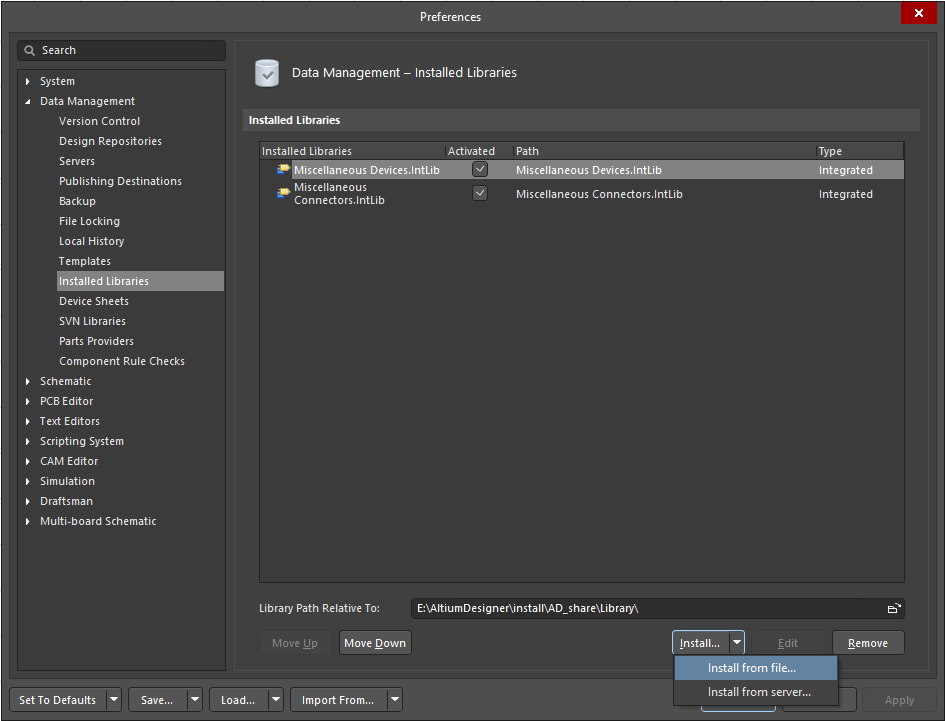


图3.6 添加封装库

将之前下载的嘉立创封装导入到软件中。选中电容、晶振、MCU、LDO和电阻的封装，点击打开即可。

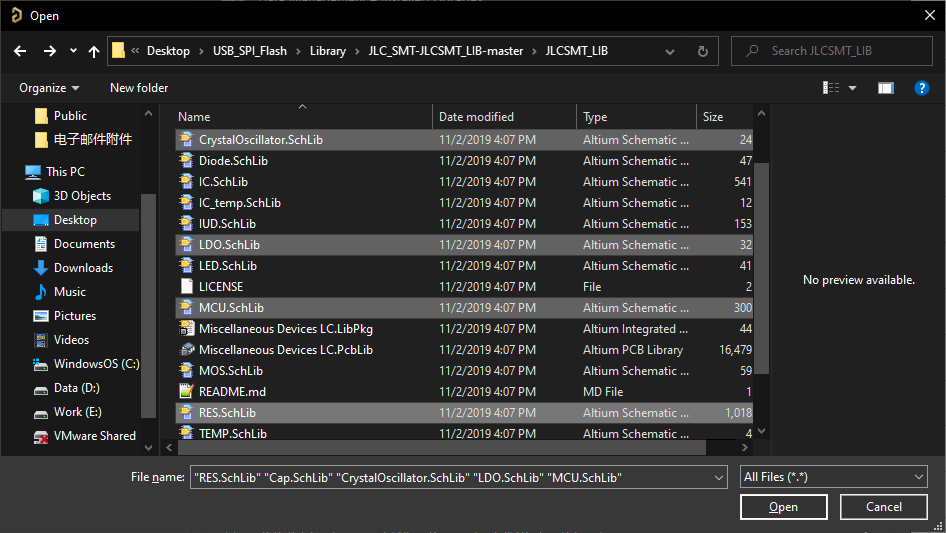


图3.7 选择封装库

导入完成后的元件库如下图所示。

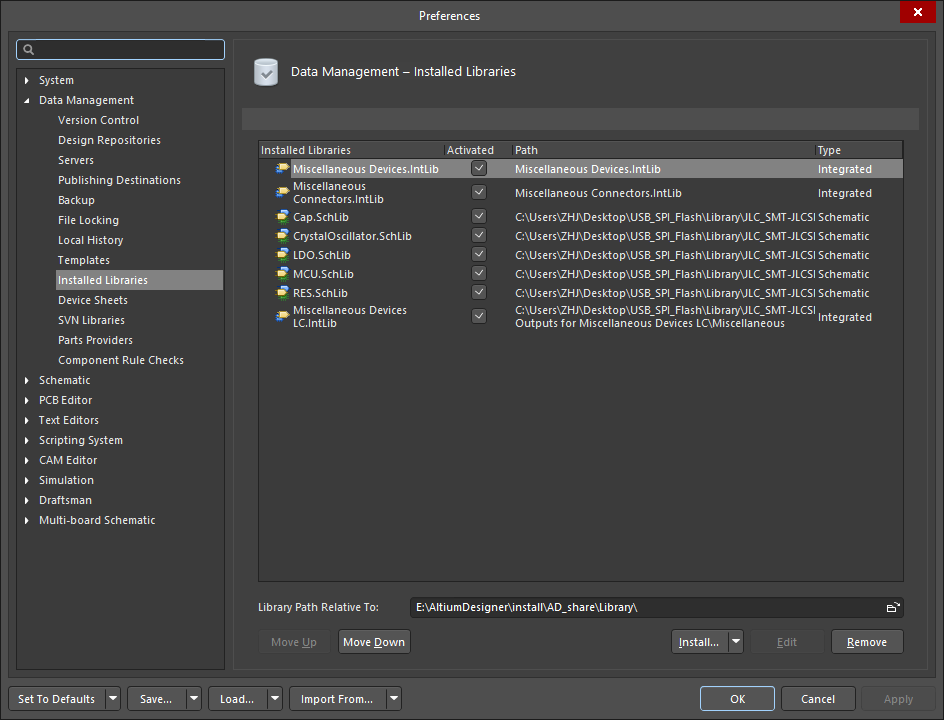


图3.8 封装库列表

### 3.1.4 模块绘制

接下来分别绘制各个模块的原理图。我直接使用了老师给的原理图，将该原理图导入到工程中，如下图所示。

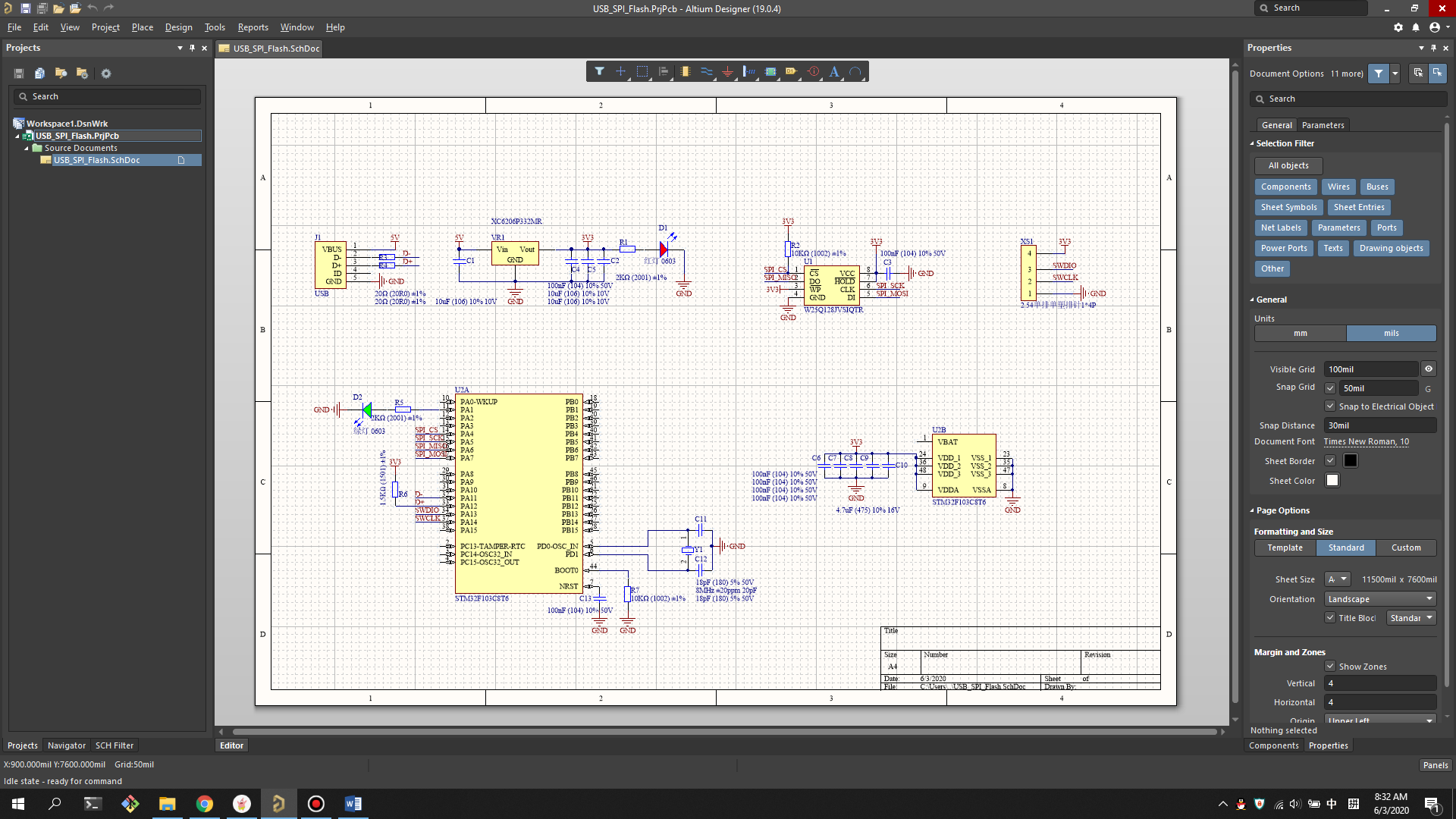


图3.9 原理图

接下来尝试使用金手指的USB接口，需要将原有的USB插头封装替换成自己绘制的金手指封装。

首先添加一个PCB封装库，用于绘制金手指的原理图和PCB封装。

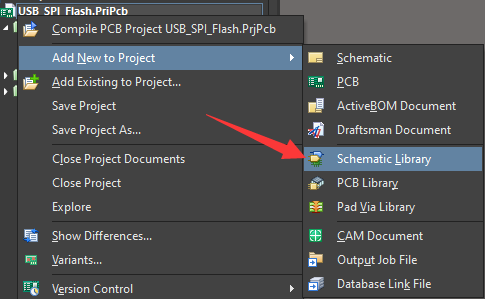


图3.10 添加原理图库文件

首先绘制原理图，原理图封装直接使用了老师提供的图。

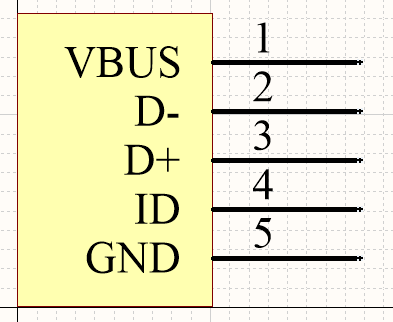


图3.11 USB原理图库

四脚排针的原理图也使用了老师给的原理图。

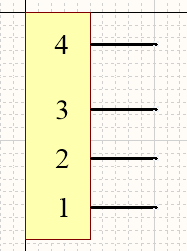


图3.12 排针原理图库

接下来绘制PCB封装，首先添加一个PCB库文件。

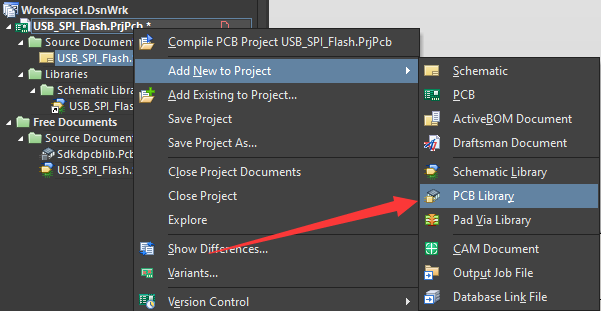


图3.13 添加PCB库文件

将四脚排针的封装添加进去，如下图所示。

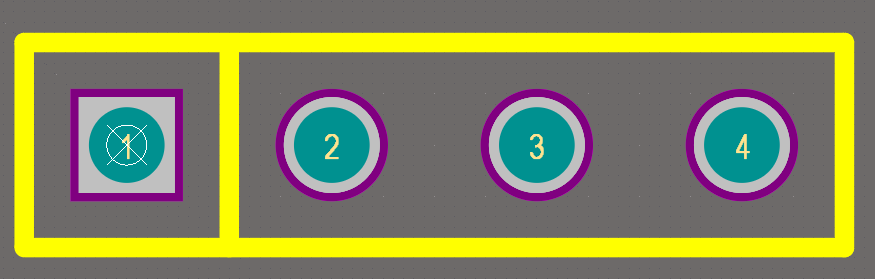


图3.14 排针PCB封装

本次我想尝试使用金手指的封装，所以需要自己绘制一下USB接口的封装。原理图就直接使用老师给的原理图，但封装需要自己绘制，如下图3.15所示。

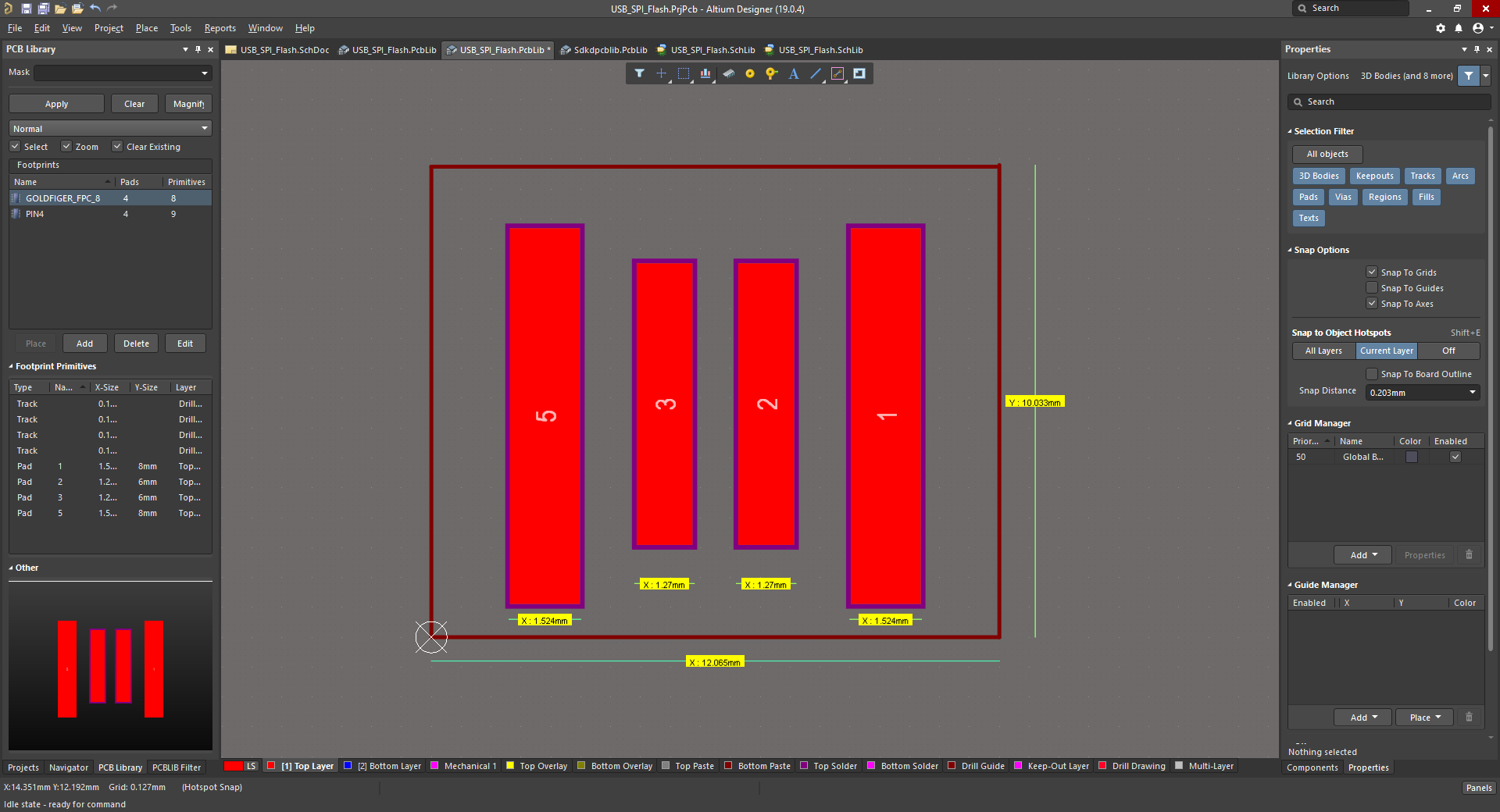


图3.15 金手指封装

PCB需要较严格的尺寸要求，我是用卡尺测量的实际接口，根据实际的金手指画出来的。另外需要注意PCB和原理图的引脚需要一一对应。搜集USB接口的引脚图，可以找到USB每个脚位所对应的实际接口。如下图所示。

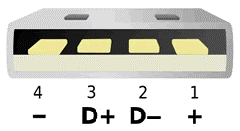


图3.16 USB接口定义

根据上图2.14所示的引脚脚位，可以设置PCB封装中的脚位与原理图对应。

PCB绘制完成后，需要将原理图和PCB联系起来。在原理图页面点击Add FootPrint添加封装。

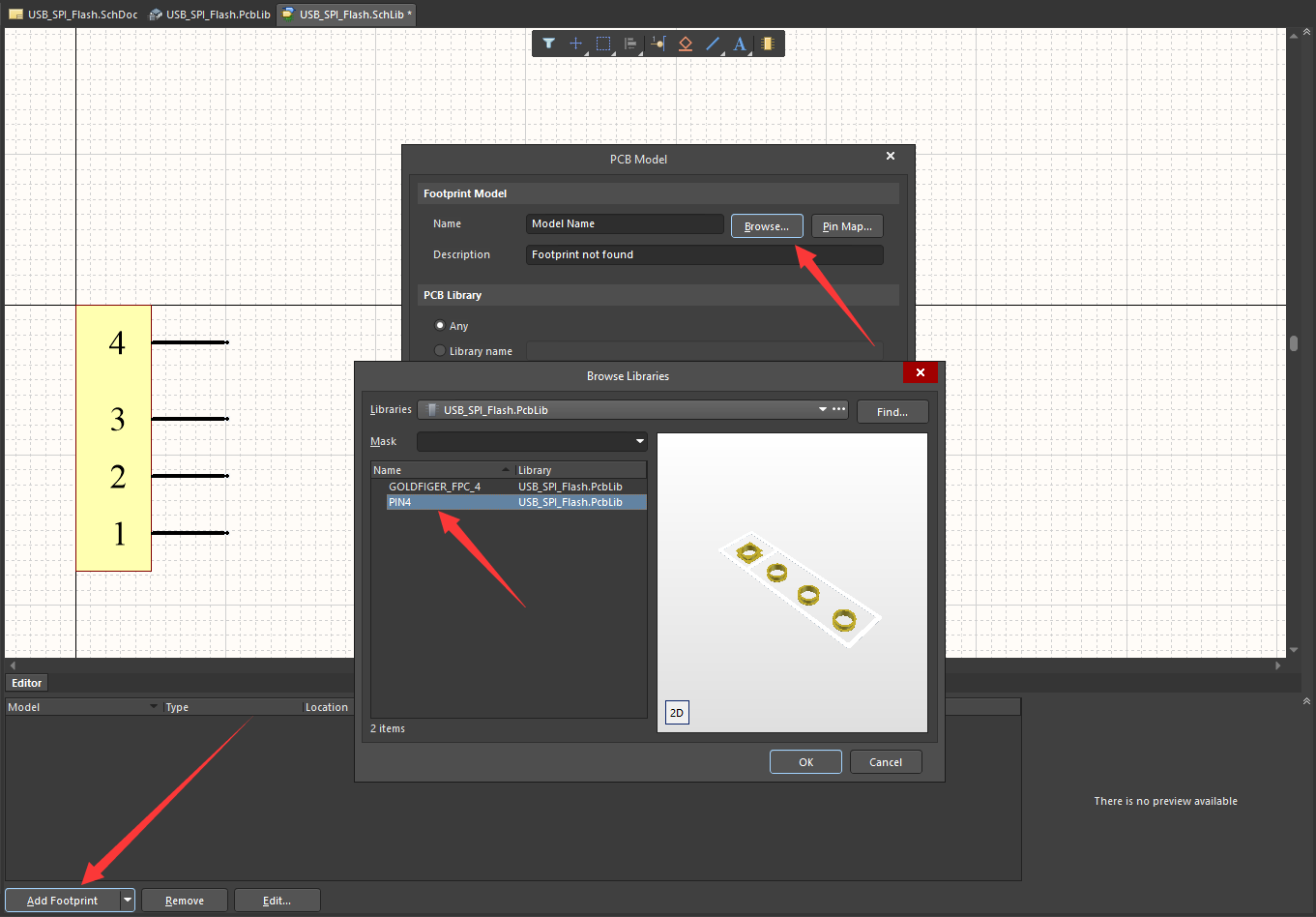


图3.17 关联原理图和封装

添加完成过后，两个原件的封装就绘制完成了。将原理图中的这两个原件替换成自己绘制的原件就可以了。

### 3.1.5 原件编号

使用软件工具将所有原件全部重新编号。在菜单栏的工具->注释选项中，找到注释原理图选项。

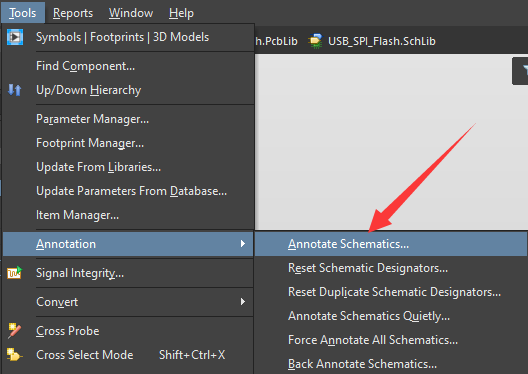


图3.18 注释原理图

在该界面，首先将所有已注释的内容清空。

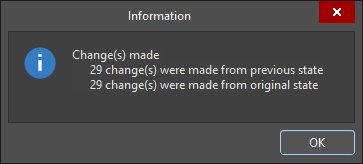


图3.19 重置注释

选择注释顺序为Across Then Down，依次更新和执行更改。验证更改并执行，将原件全部重新编号。



图3.20 重新编号

### 3.1.6 编译工程

原理图绘制完成后，对原理图进行编译。

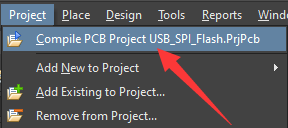


图3.21 编译工程

编译结果如下。

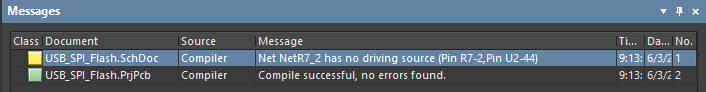


图3.22 编译结果

编译警告说P7-2引脚没有驱动源，双击看一下具体位置。

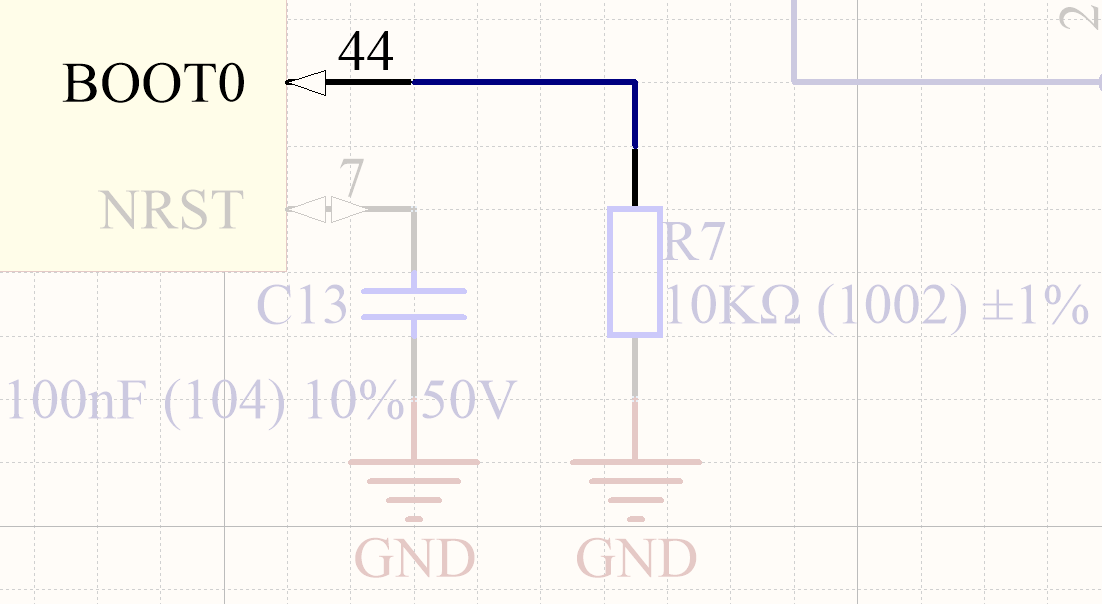


图3.23 警告位置

是因为芯片设计时，此引脚需要有输入的驱动信号，现在绘制的原理图直接接地了，没有驱动信号所以会产生警告。该警告可以忽略。

## 3.2 绘制PCB

### 3.2.1 绘制板子形状

原理图绘制完成后就可以绘制PCB了。新建一个PCB文件，命名为USB\_SPI\_Flash。



图3.24 新建PCB文件



图3.25 PCB初始样式

按照实验要求，重新定义PCB的板子形状。可以在菜单栏的编辑选项中，找到设置原点选项，将原点重新设置一下。

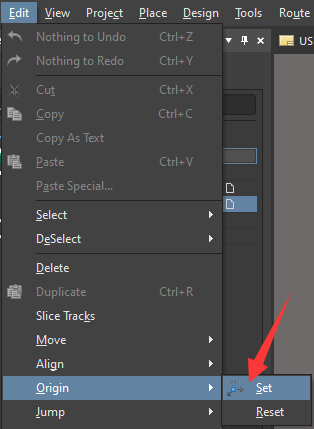


图3.26 设置原点

切换到机械层，绘制矩形的边框。首先绘制一条直线，然后双击设置它的长度。

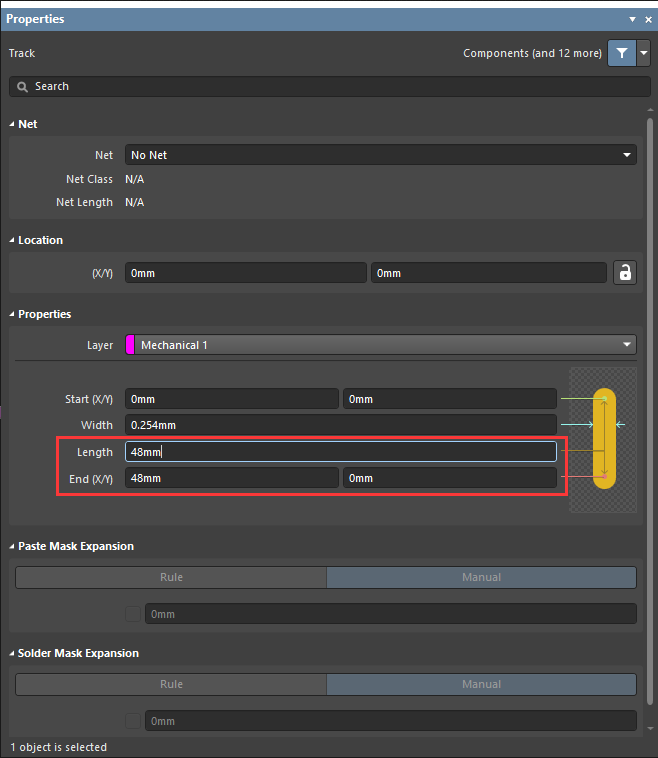


图3.27 设置线条长度

绘制一个48mm \* 25mm的矩形边框，如下图所示。

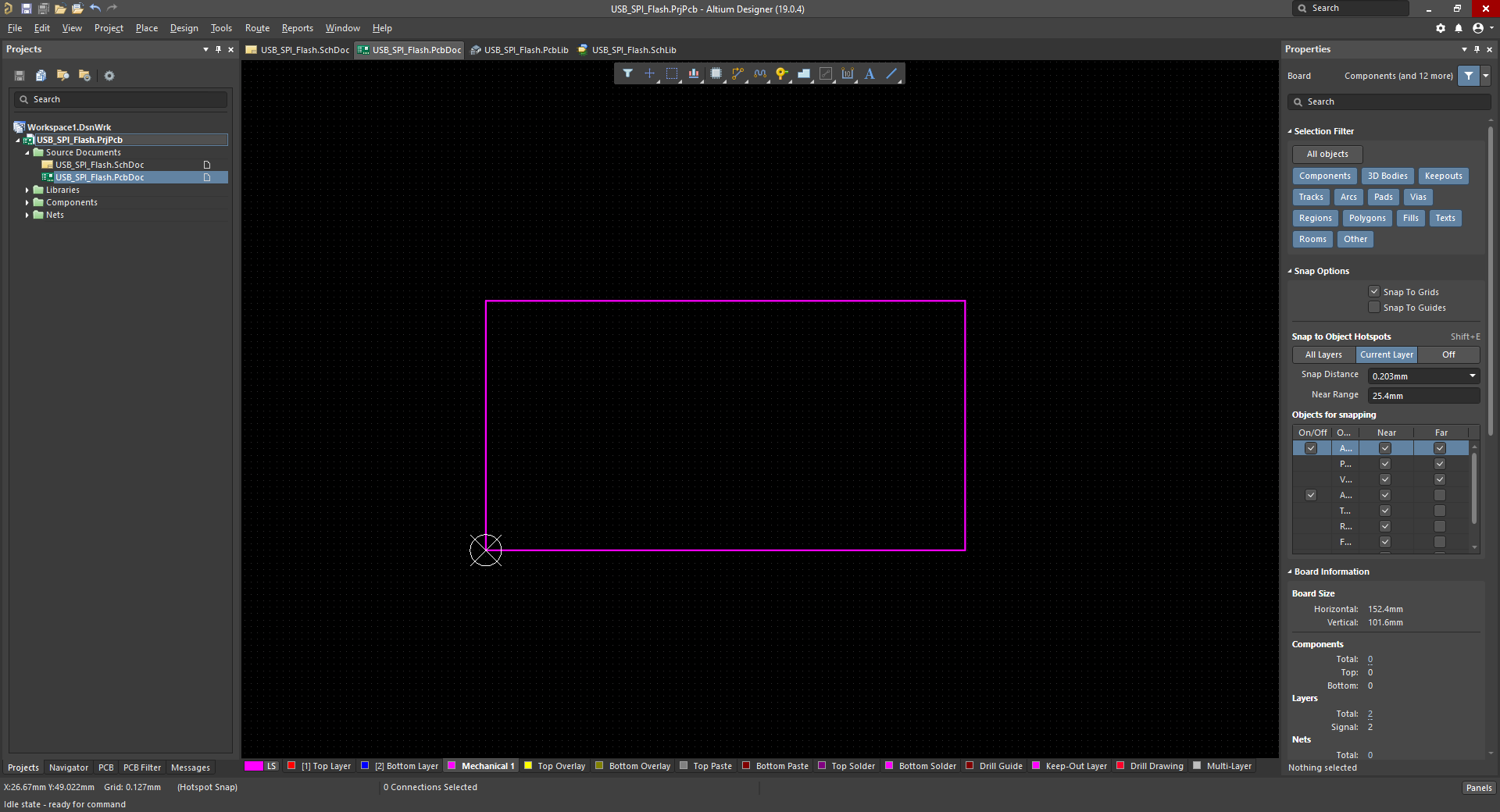


图3.28 矩形边框

将该矩形框选中，重新定义板子形状。

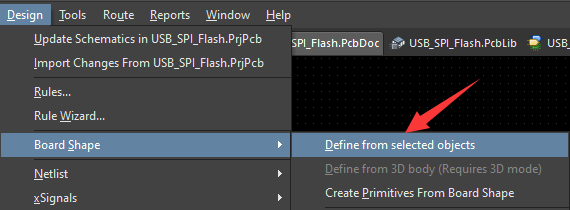


图3.29 定义板子形状

完成之后的板子形状如下图所示。

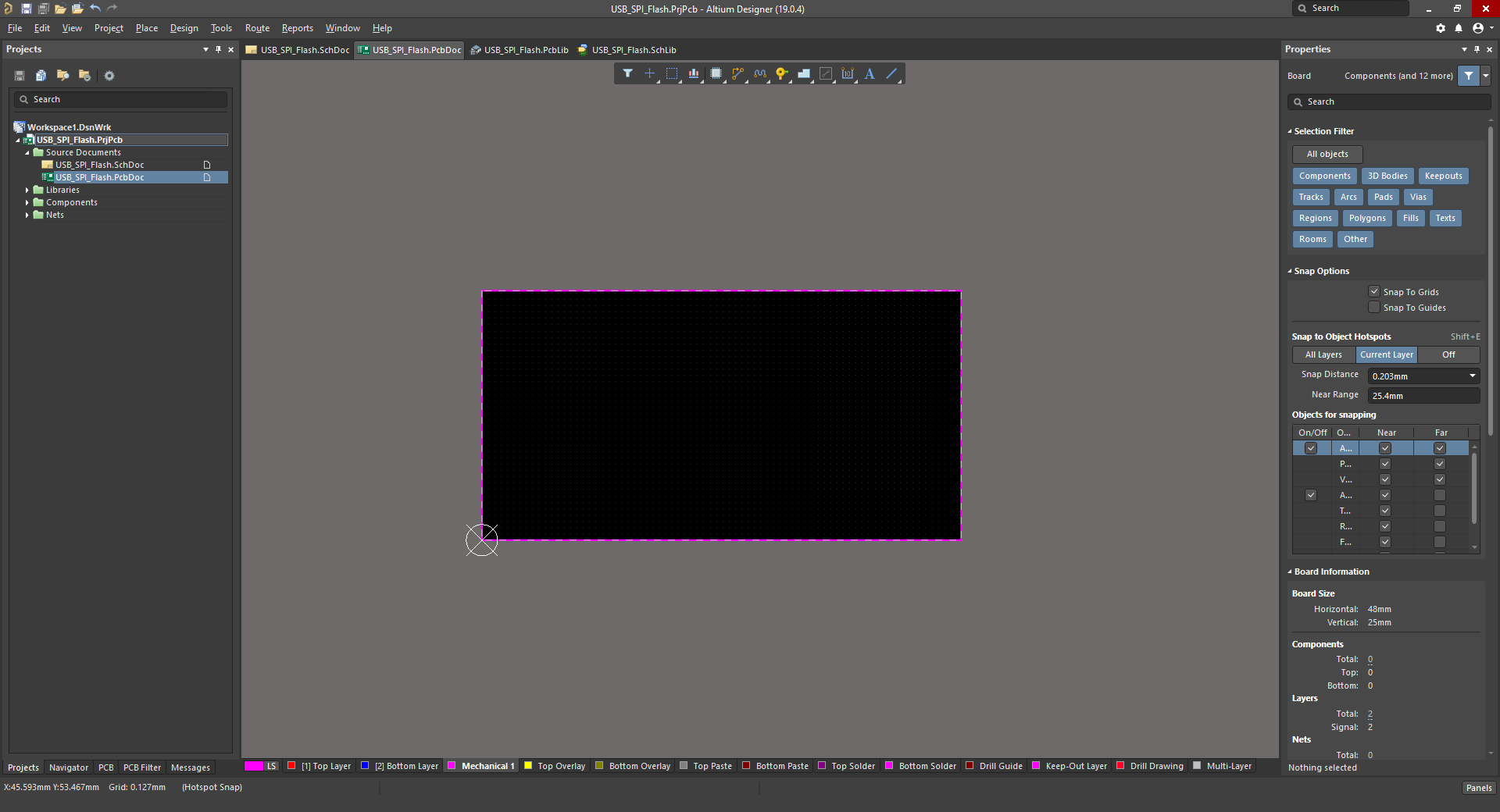


图3.30 板子形状

### 3.2.2 导入原件

在原理图界面点击设计->更新PCB文件，将原件导入到PCB中。

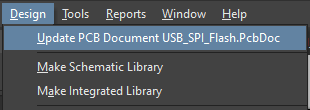


图3.31 导入元件

点击验证更改可以对原件的封装进行验证。

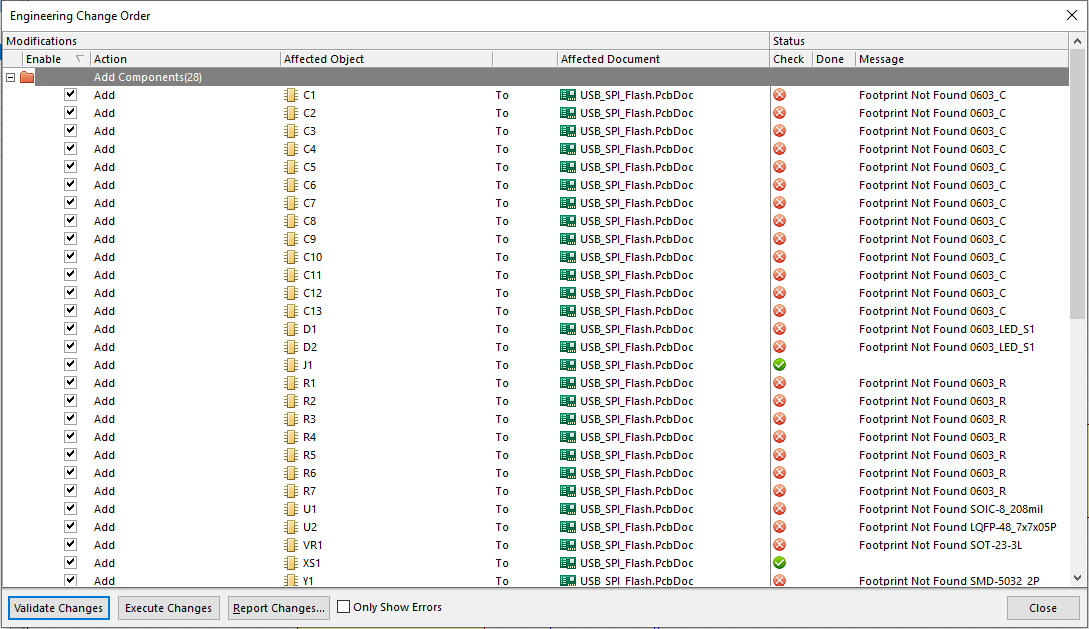


图3.32 导入异常

如果此时出现了上图的报错信息，说明原件的PCB封装没有找到。这些封装是嘉立创提供的封装，所以只需要将对应的封装文件导入进来就可以了。

导入完成后，依次点击验证更改和执行更改，原件就导入到PCB文件中了。



图3.33 导入成功

导入到PCB文件中的效果如下图所示。

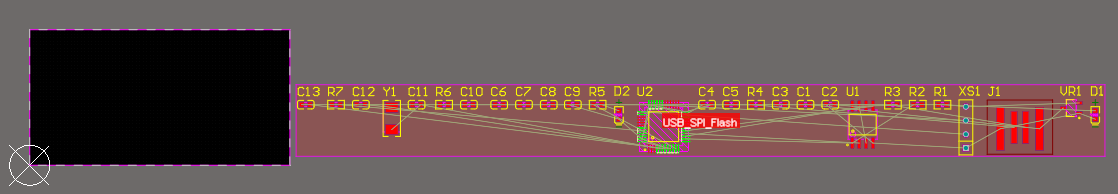


图3.34 元件初始样式

### 3.2.3 原件排布

接下来将原件依次排布在PCN板子上。



图3.35元件排布

接下来可以根据要求重新绘制一下板子形状。

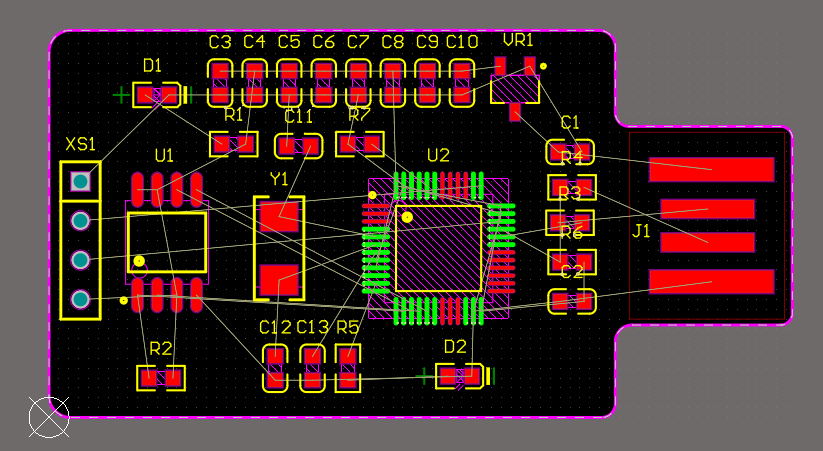


图3.36 边框调整

### 3.2.4 原件布线

在原件位置固定后，可以开始进行布线。首先设置布线规则。

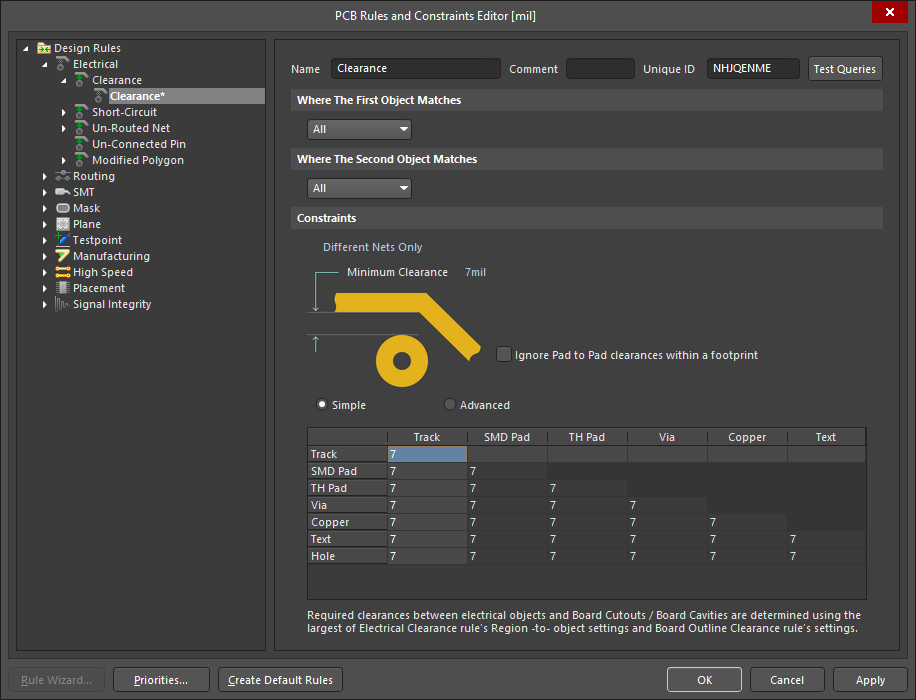


图3.37 设置边界规则

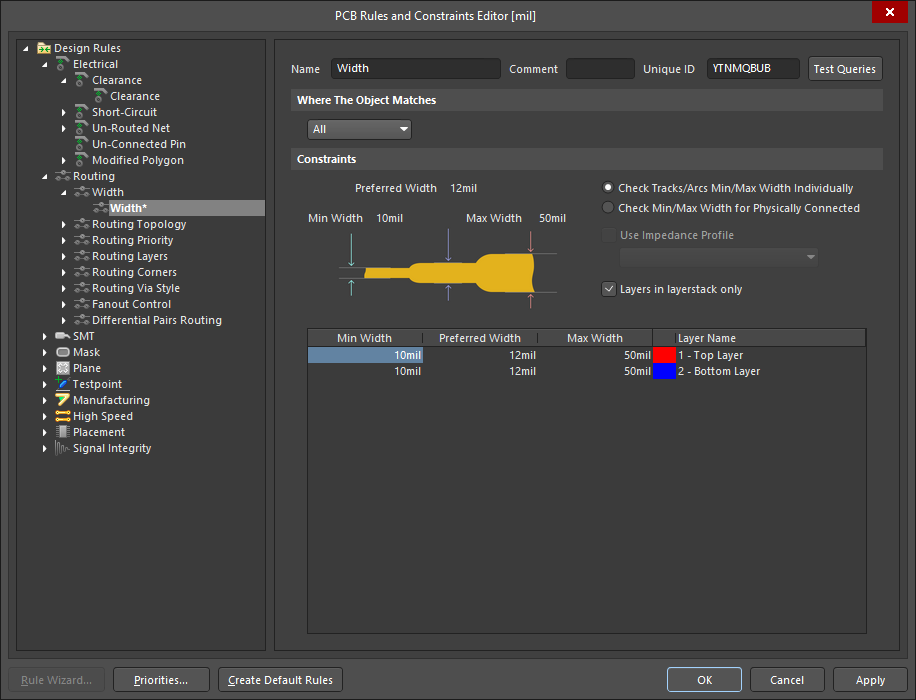


图3.38 设置线宽规则

布线之前可以使用对齐工具，将同行列的原件对齐。

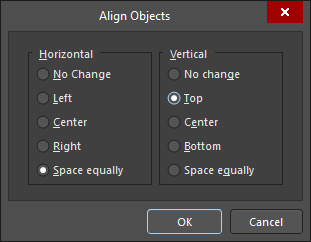


图3.39 对齐原件

之后可以自己布线了，顶层布线初步完成后的样式如下：

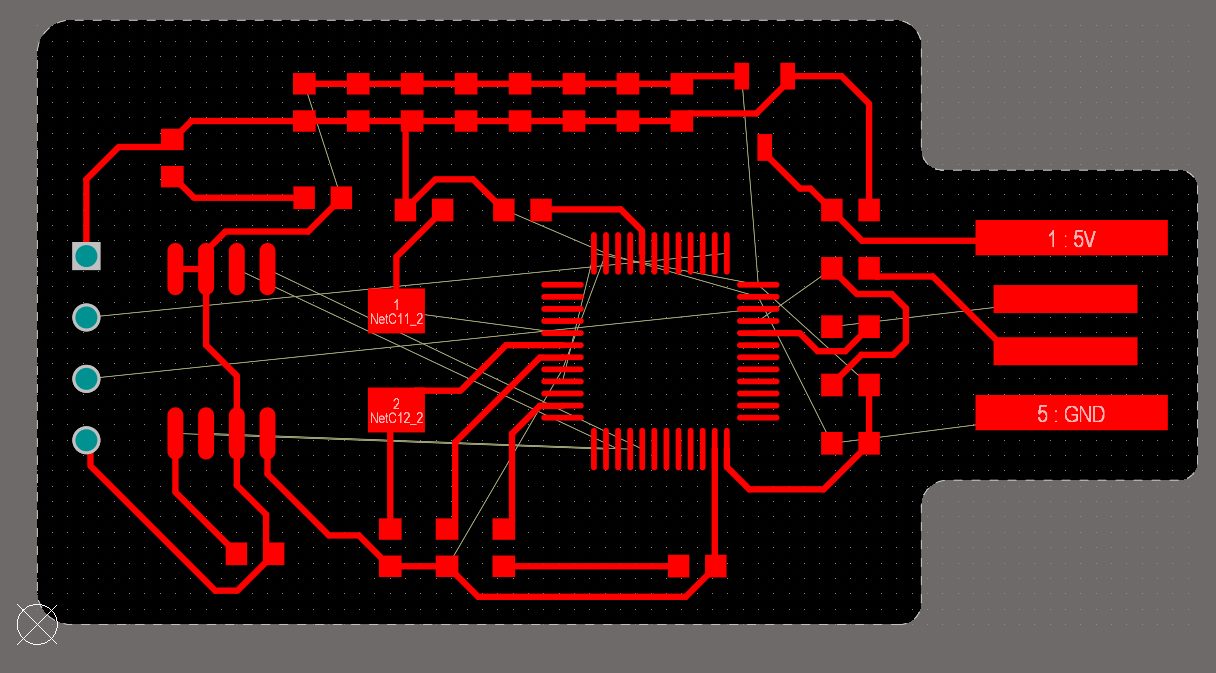


图3.40 顶层布线

有些线在顶层铺不开了，需要打过孔到底层去布线。首先要设置一下过孔的大小。孔径设置为0.5mm，外层直径设为0.7mm。

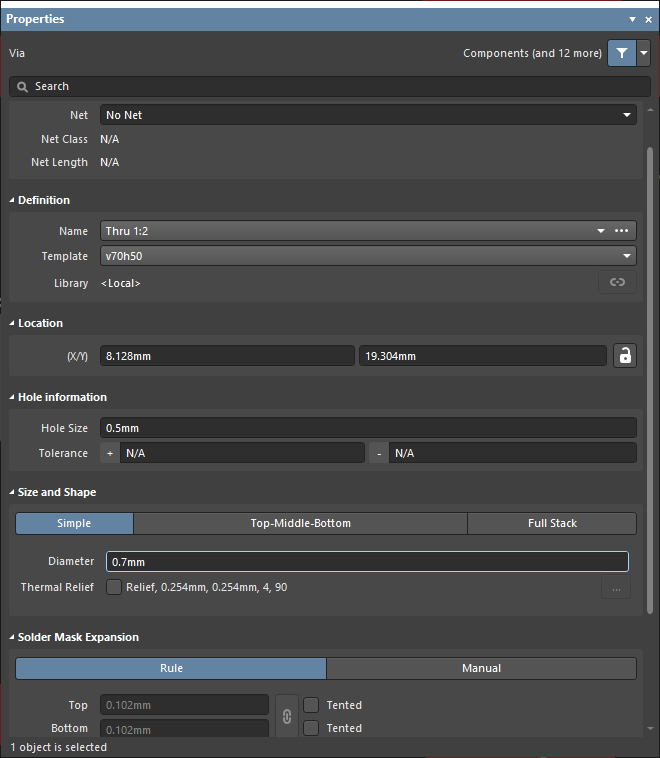


图3.41 过孔设置

设置完过孔孔径后，可以进行打孔等操作。在PCB背面布线，初步布线效果如下图所示。

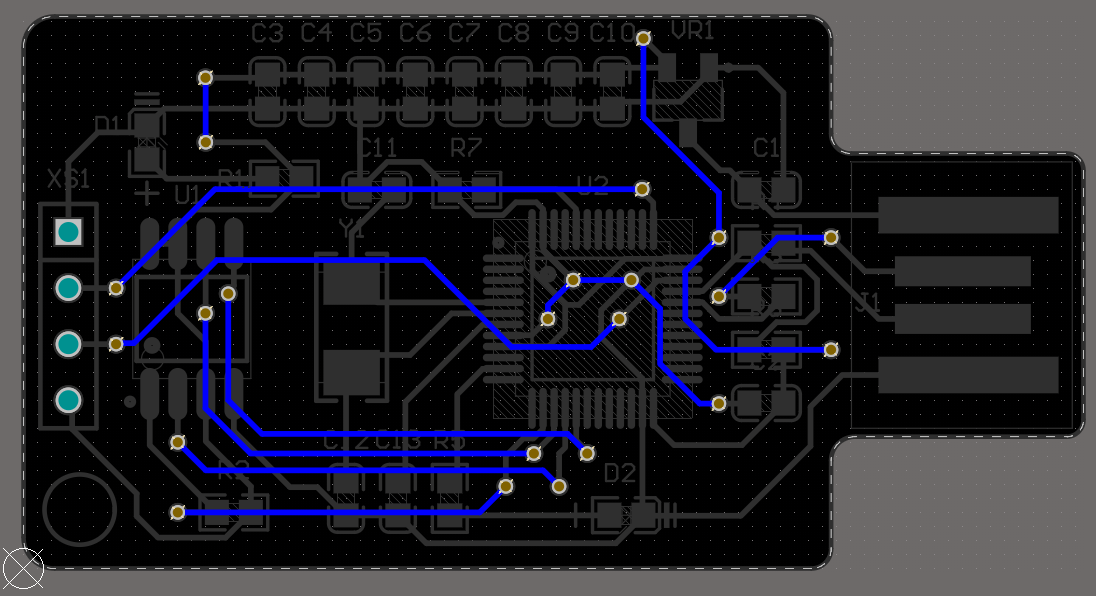


图3.42 底层布线

布线完成后，需要整体看一下布线效果，对部分线束进行修改。修改完成过后的大体布线效果如下图所示。

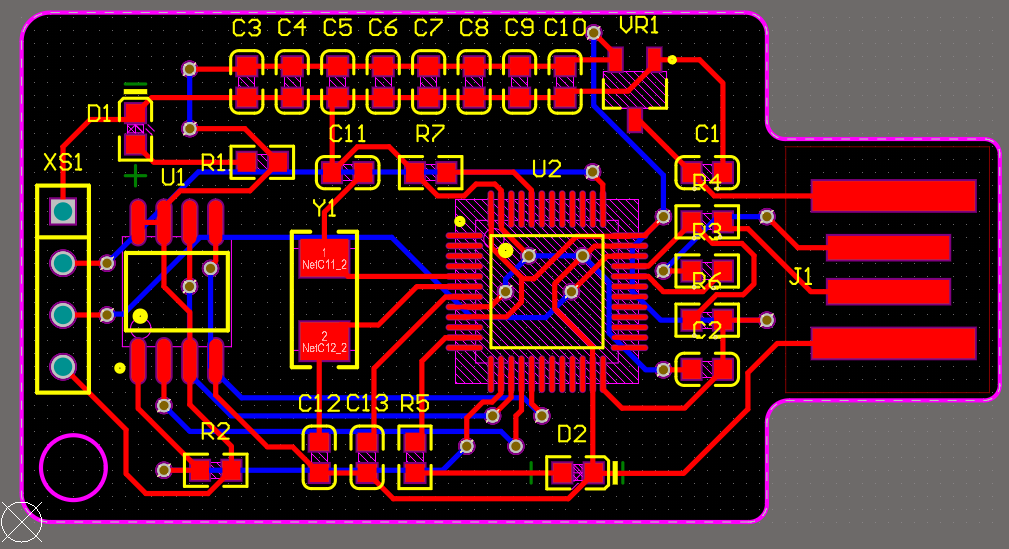


图3.43 PCB样式

### 3.2.5 补泪滴

为了防止在机械制板的时候，焊盘或过孔因承受钻孔的压力而与铜膜导线在连接处断裂，因此连接处需要加宽铜膜导线来避免此种情况发生。此外补泪滴后的连接处会变得比较光滑，不易因残留化学药剂而导致对铜膜导线的腐蚀。

在菜单栏的工具->泪滴选项中，可以设置泪滴的添加方式。

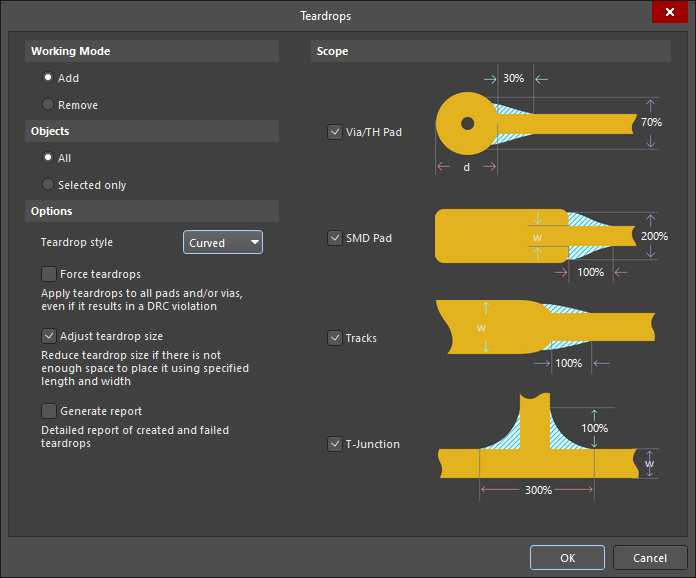


图3.44 补泪滴设置

补完泪滴的PCB效果如下图所示。

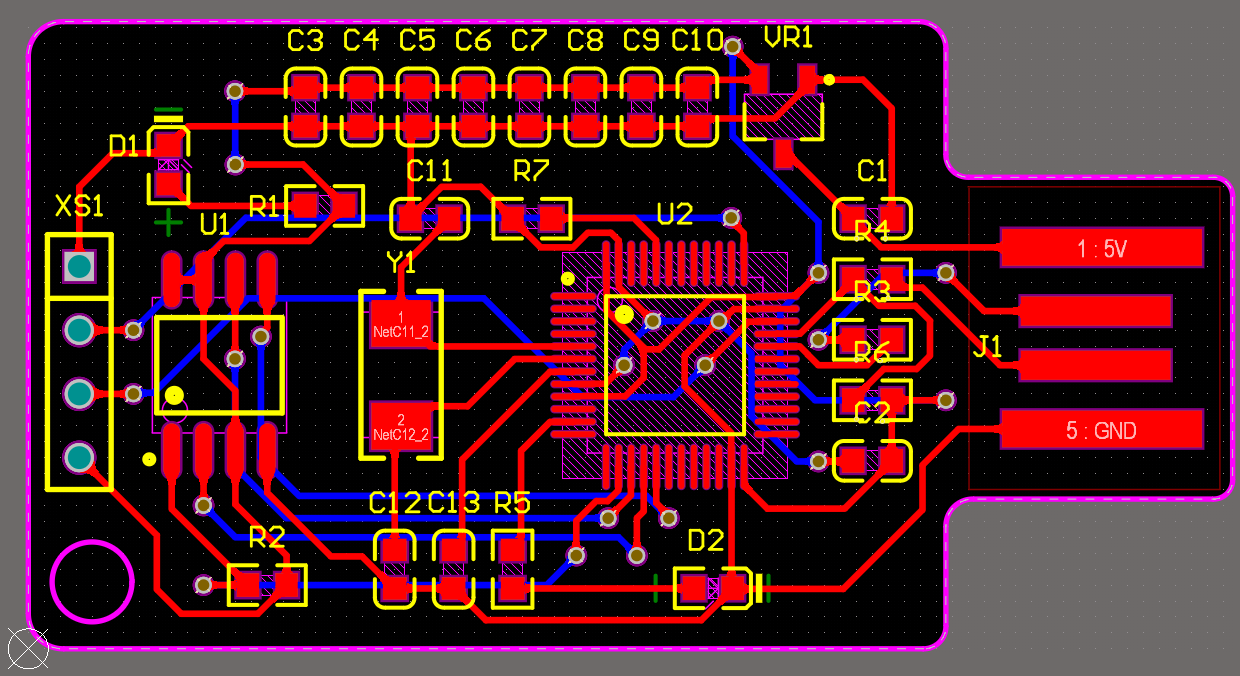


图3.45 补泪滴效果

### 3.2.6 铺铜

连线完成后，进行铺铜。首先铺底层的GND层，并勾选移除死铜选项。

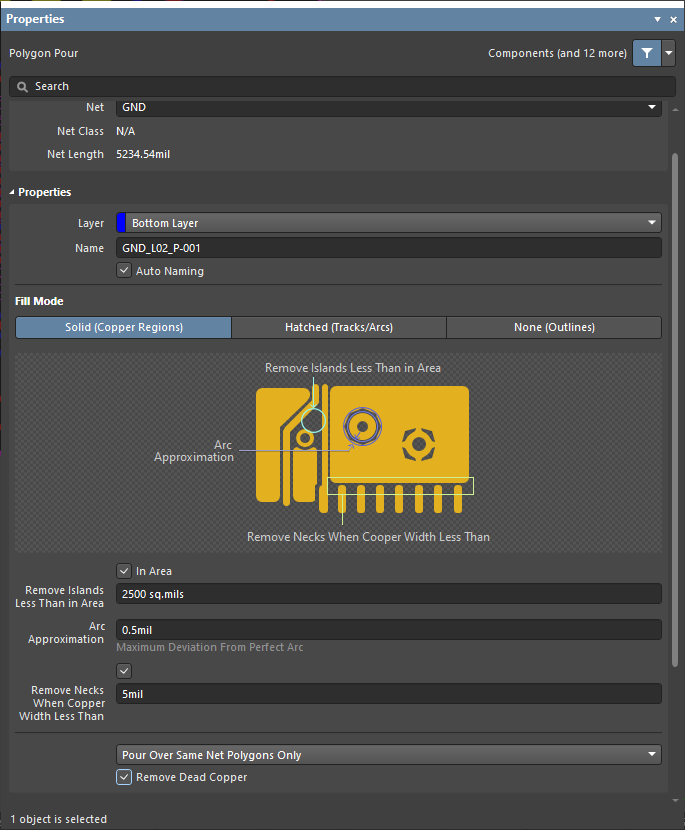


图3.46 底层铺铜

底层覆铜效果如下图所示。

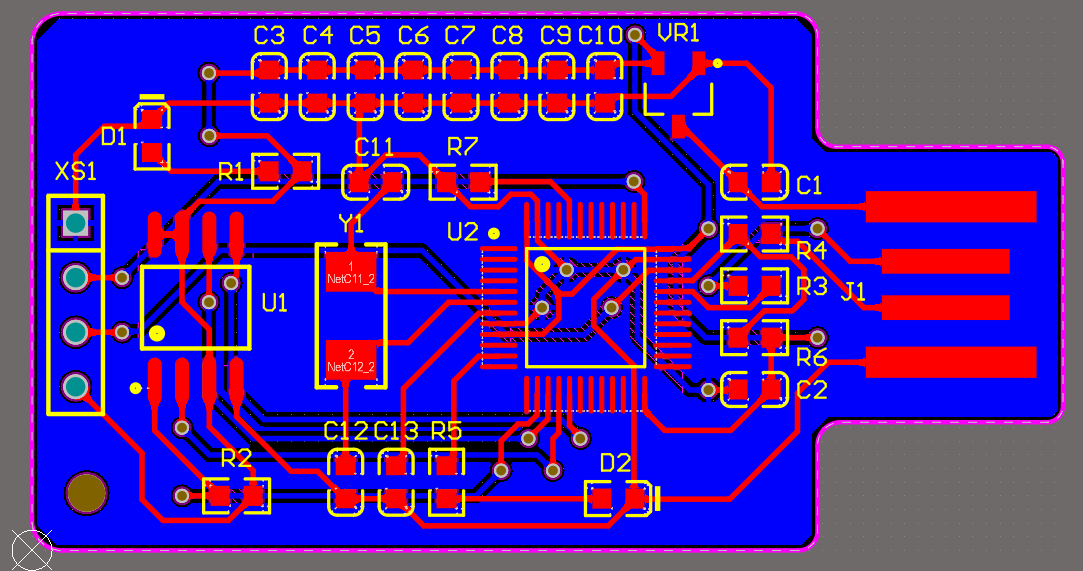


图3.47 底层铺铜效果

正面覆铜效果如下图所示。

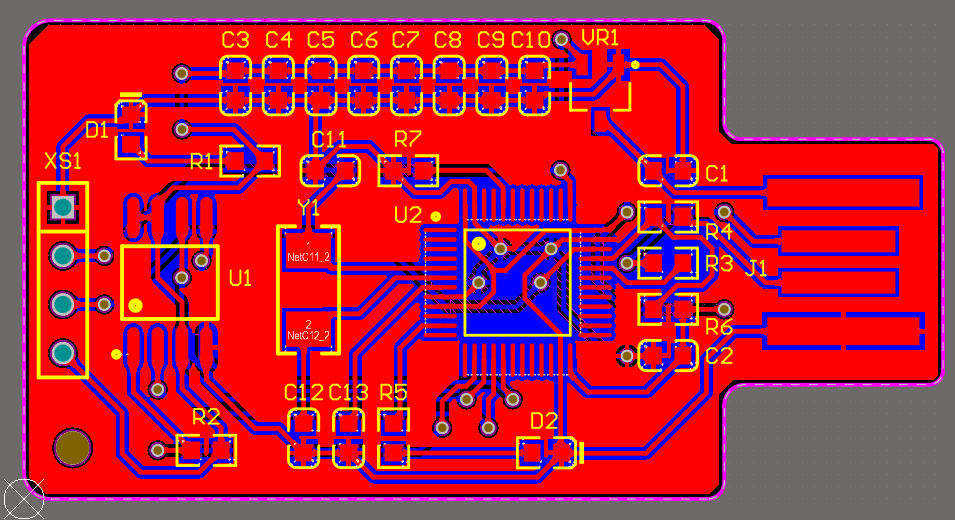


图3.48 顶层铺铜效果

### 3.2.7 DRC检查

覆铜完成后，需要进行DRC检查。

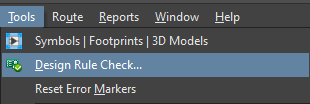


图3.49 DRC检查

第一次DRC检查的结果如下图所示。

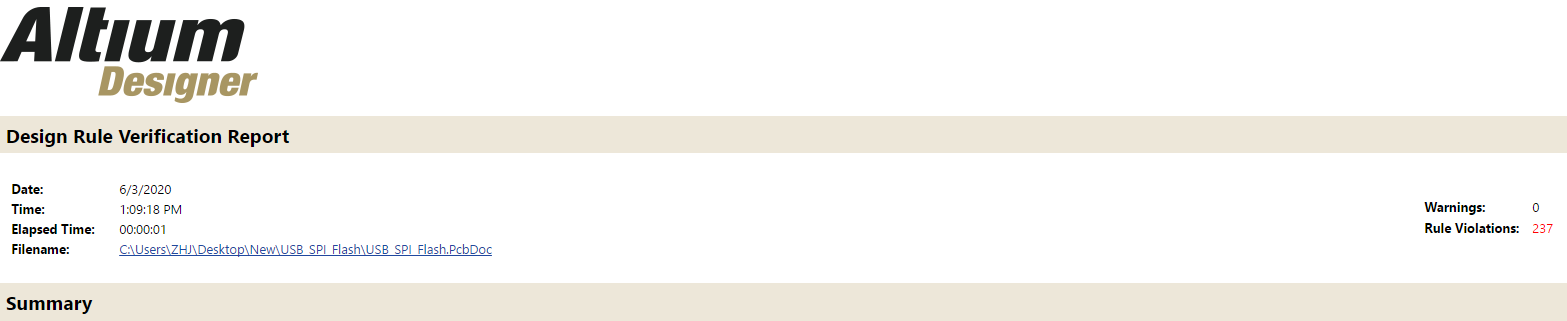


图3.50 第一次DRC检查结果

具体是有两方面的问题：

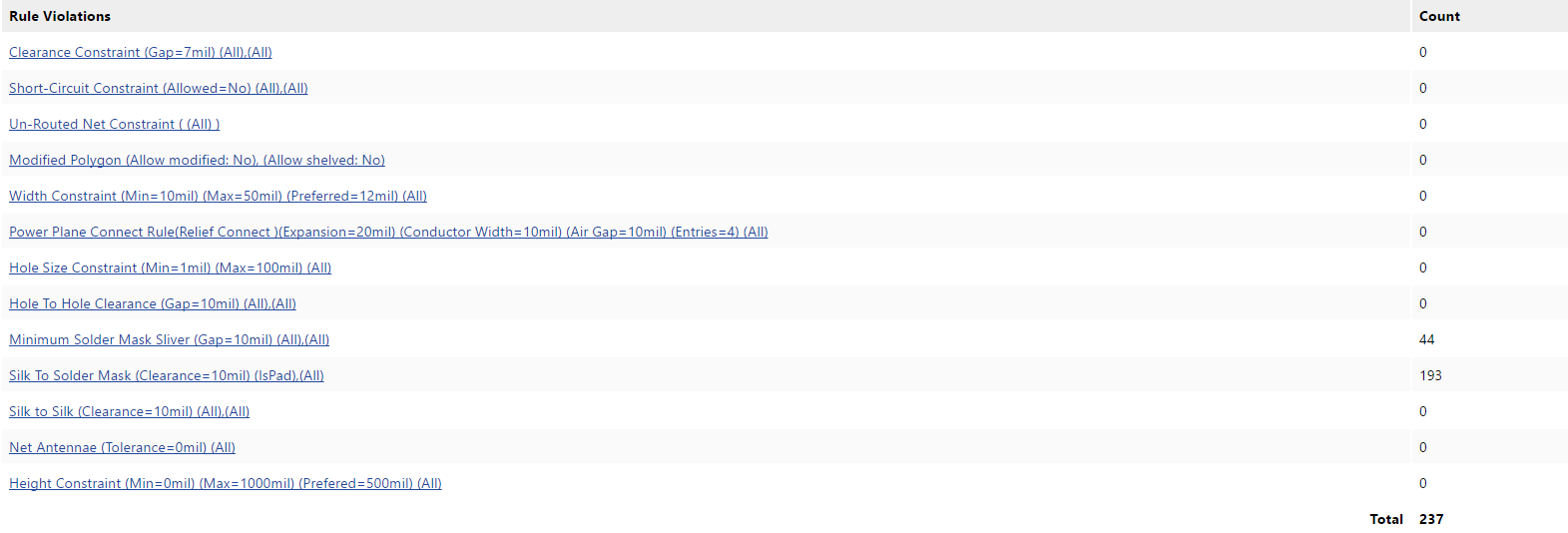


图3.51 具体问题

第一个是焊盘之间的间距，有些地方超过了0.254mm。另一个是丝印到焊盘之间的间距，有些地方也小于了0.254mm。

接下来修改DRC检查的规则，如下图所示。

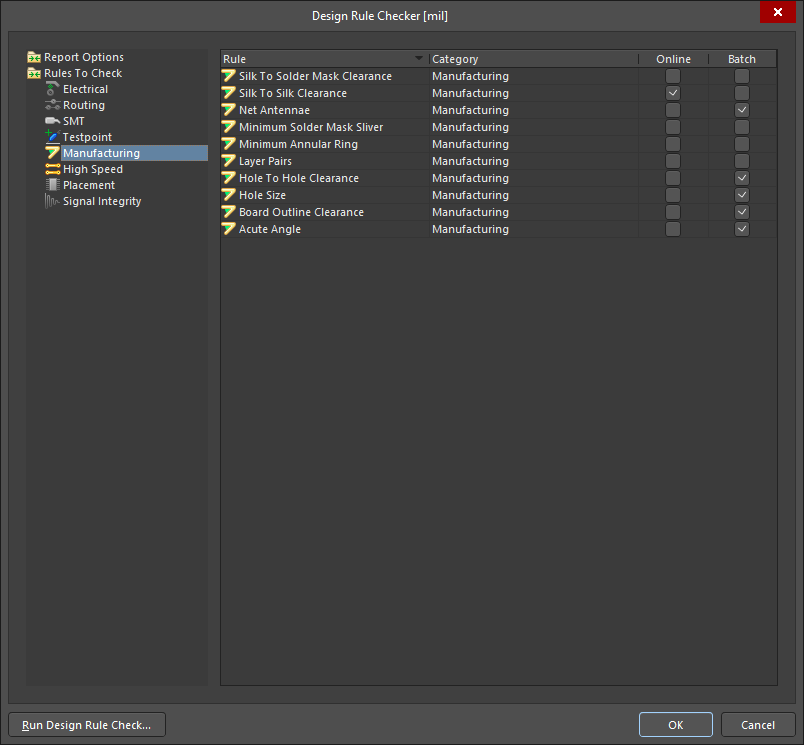


图3.52 重设检查规则

第二次DRC检查：

将检查的约束条件去除一些，再次运行DRC检查。

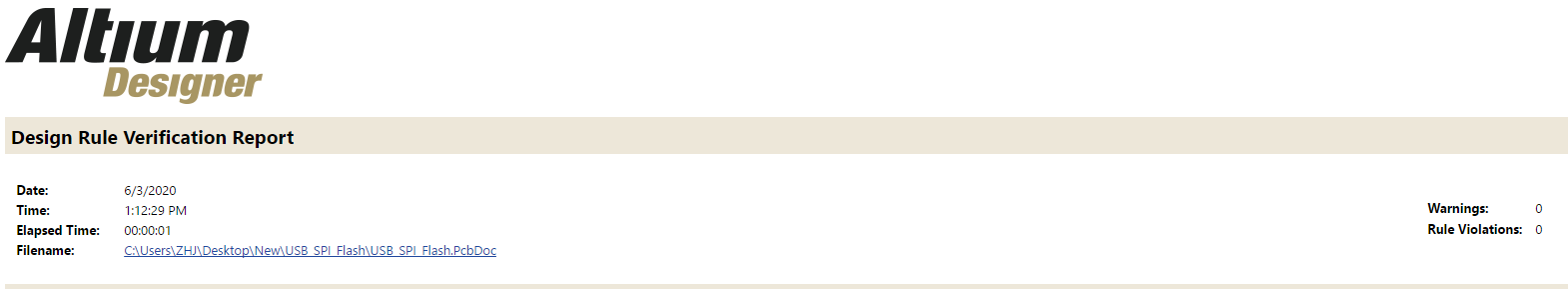


图3.53 第二次DRC检查结果

此时检查的结果就不存在错误了。

### 3.2.8 添加丝印并检查

首先添加一个学校的校徽，首先运行AD脚本，执行RunConverterScript将BMP图片转换为丝印层图片。

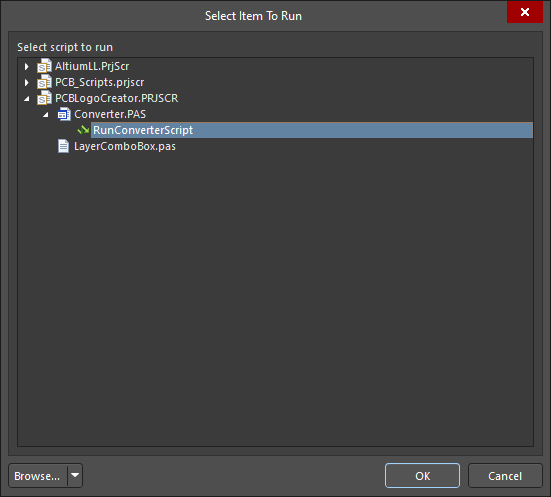


图3.54 运行脚本

在底层丝印层添加这个图片，转换过程如下图所示。

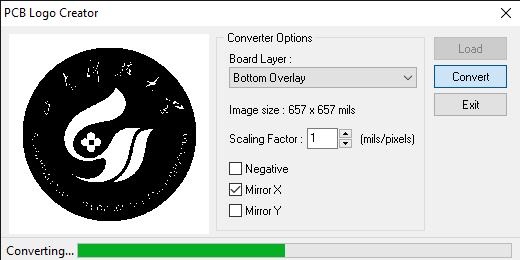


图3.55 图片转换

将转换完成的丝印复制粘贴到底层丝印层即可。



图3.56 底层丝印效果

但是考虑到本次的PCB板比较小，如果印上校徽可能根本看不清字，所以我就将底层的校徽丝印去掉了。

经过调整，最终的背面丝印如下图所示。



图3.57 丝印调整

丝印做完之后，再进行依次DRC检查，放置丝印与焊盘靠得太近。

第三次DRC检查结果如下：

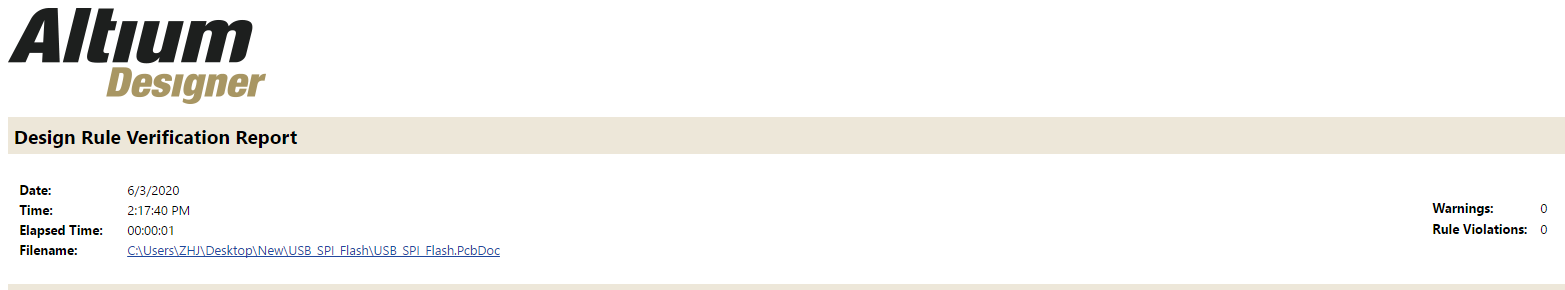


图3.58 第三次DRC检查结果

可以看到，DRC检查已通过。

### 3.2.9最终效果

PCB最终效果如下图所示。

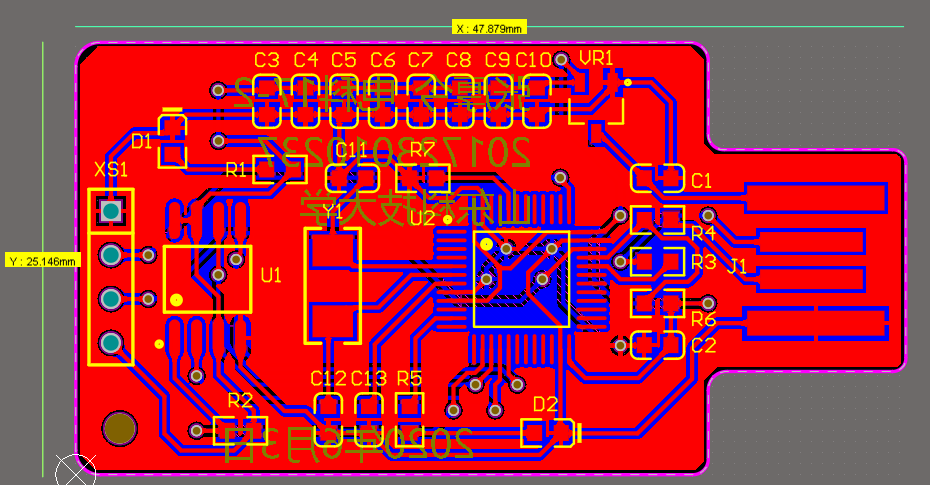


图3.59 PCB效果

三维模拟视图如下图所示。

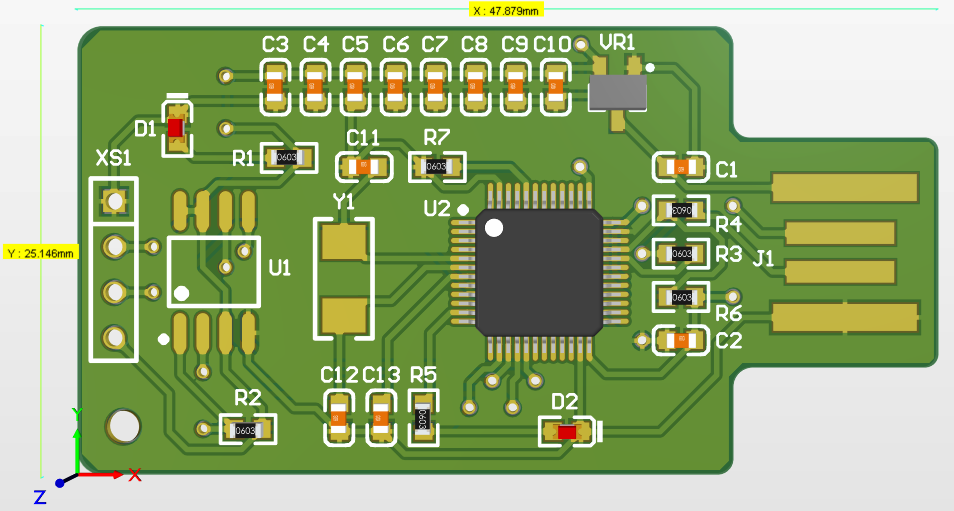


图3.60 正面三维视图

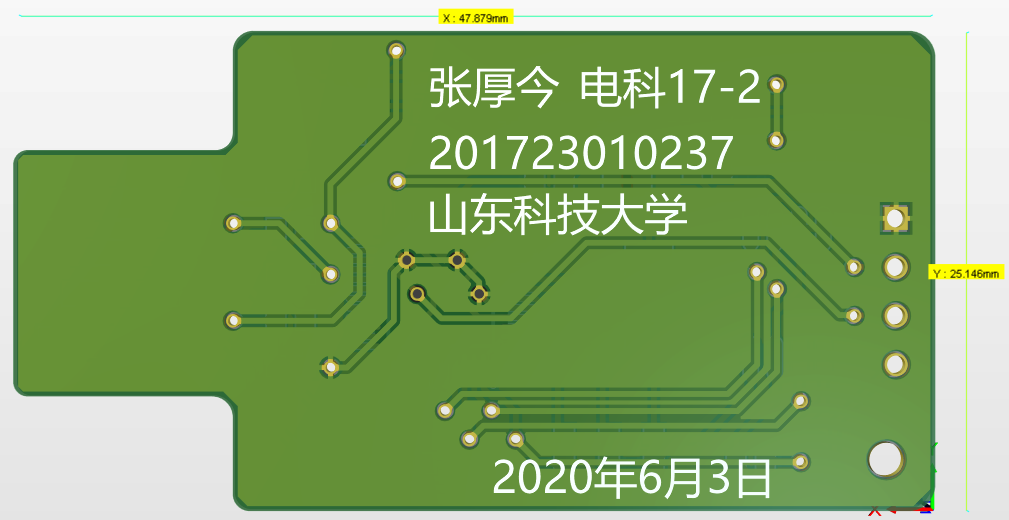


图3.61 背面三维视图

## 3.3 PCB打板

### 3.3.1 导出文件

本次PCB实训使用嘉立创打板，首先将PCB源文件复制一份并压缩至RAR格式。

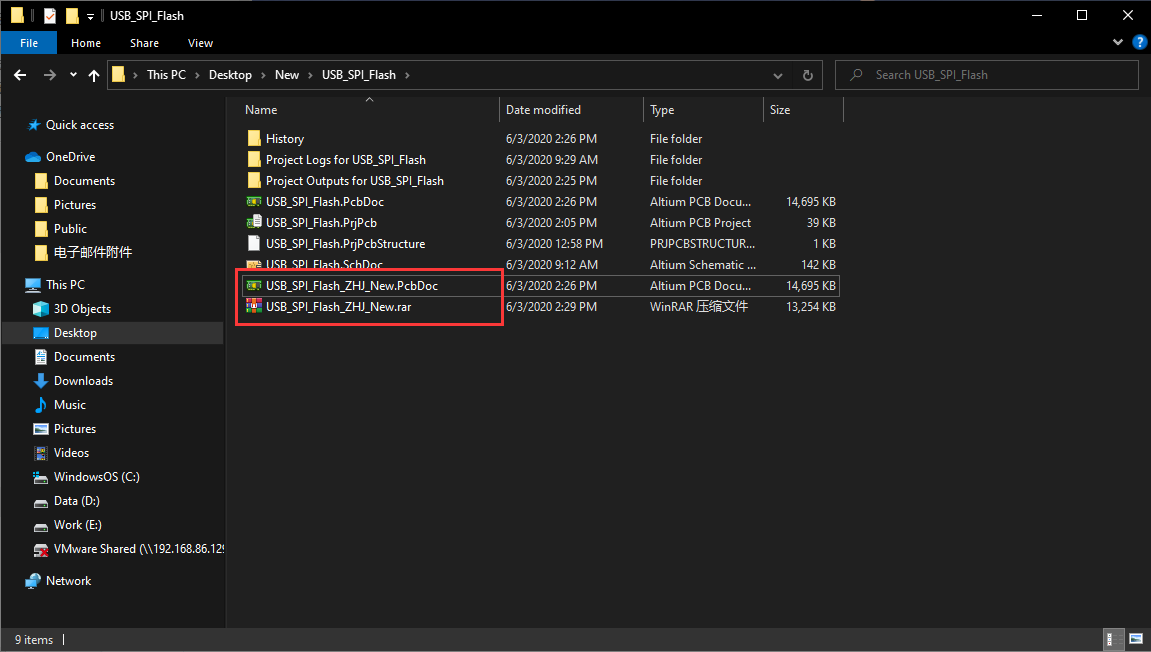


图3.62 压缩文件

在嘉立创助手上传压缩文件。



图3.63 上传文件

上传完成后，可以查看文件解析结果。

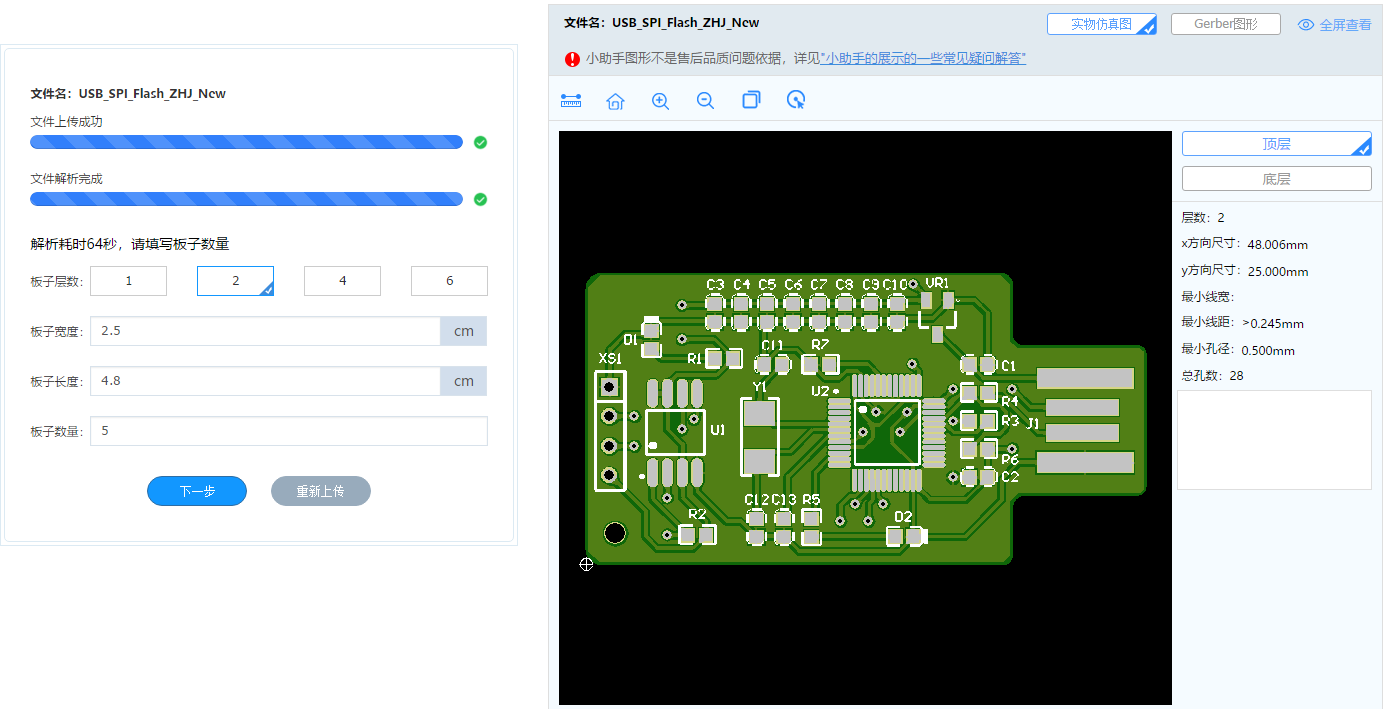


图3.64 文件解析

### 3.3.2 填写订单

在下单页面填写相关选项，点击提交订单即可。



图3.65 订单详情

因为这块板子是我的第二次设计，前几天已经投过一次板了，我觉得当时做的板子布局不太好，所以就重做了一次。第一次投稿时选用了SMT贴片，本次投稿就不再用SMT了。两次投板的订单列表如下图所示。



图3.66 订单列表

### 3.3.3 原件贴片

第一次投板时选用了工厂的SMT贴片，其操作步骤如下。

首先需要在嘉立创的SMT订单页面上传自己的PCB源文件，由嘉立创自动生成对应的BOM表和坐标文件。



图3.67 上传文件

上传完成后，点击下一步，可以看到原件的BOM表，如下图所示。检查原件的BOM表与自己PCB所用的原件是否相同，检查完毕后可以点击确认。

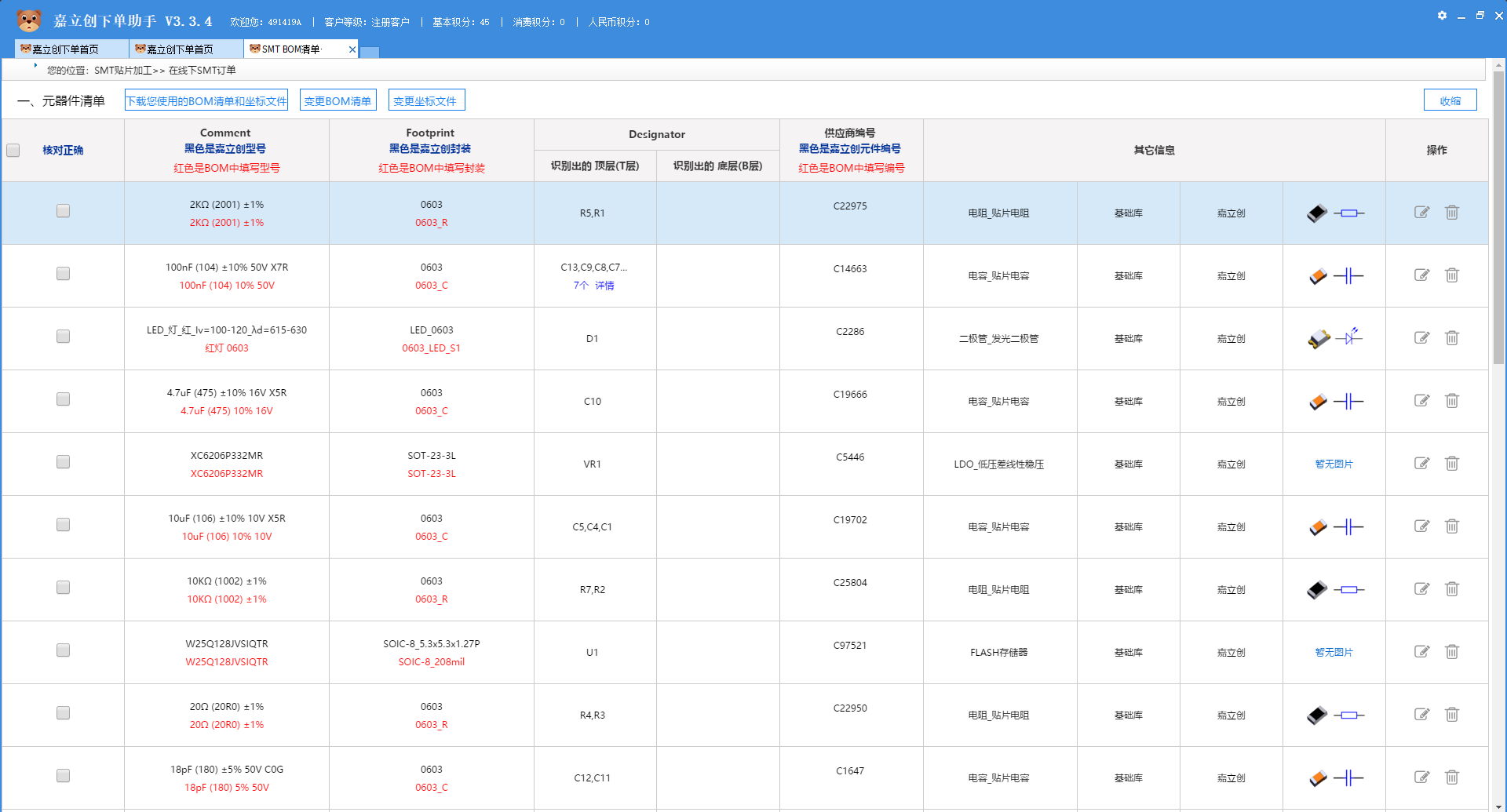


图3.68 原件清单对照

确认元件清单无误后，可以看到PCB的模拟贴片图。如下图所示。

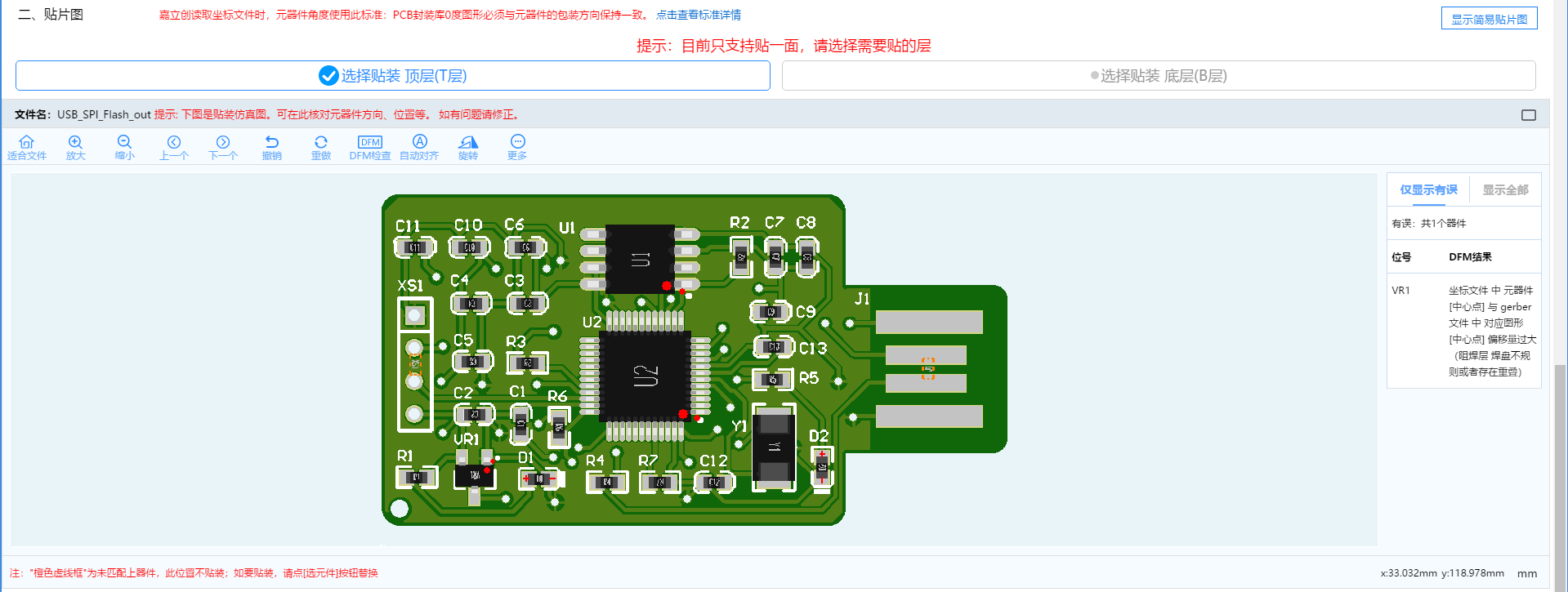


图3.69 原件贴片图

上面是我第一次画的PCB贴片图，当时画得比较糟糕，原件也不整齐，过孔也比较多。元件贴片图检查完成之后，就可以对整个SMT订单进行确认了。



图3.70 贴片信息

确认订单前可以查看具体的项目费用情况。



图3.71 订单信息

整个订单包括PCB打板订单和SMT贴片订单，如下图所示。



图3.72 订单列表

确认完订单并提交付款后，就只需等待发货了。

# 4 实验结果

本次实验根据原理图绘制了相应的PCB电路，并将PCB文件投稿至工厂，进行了工厂打板和SMT贴片。

# 5 附录

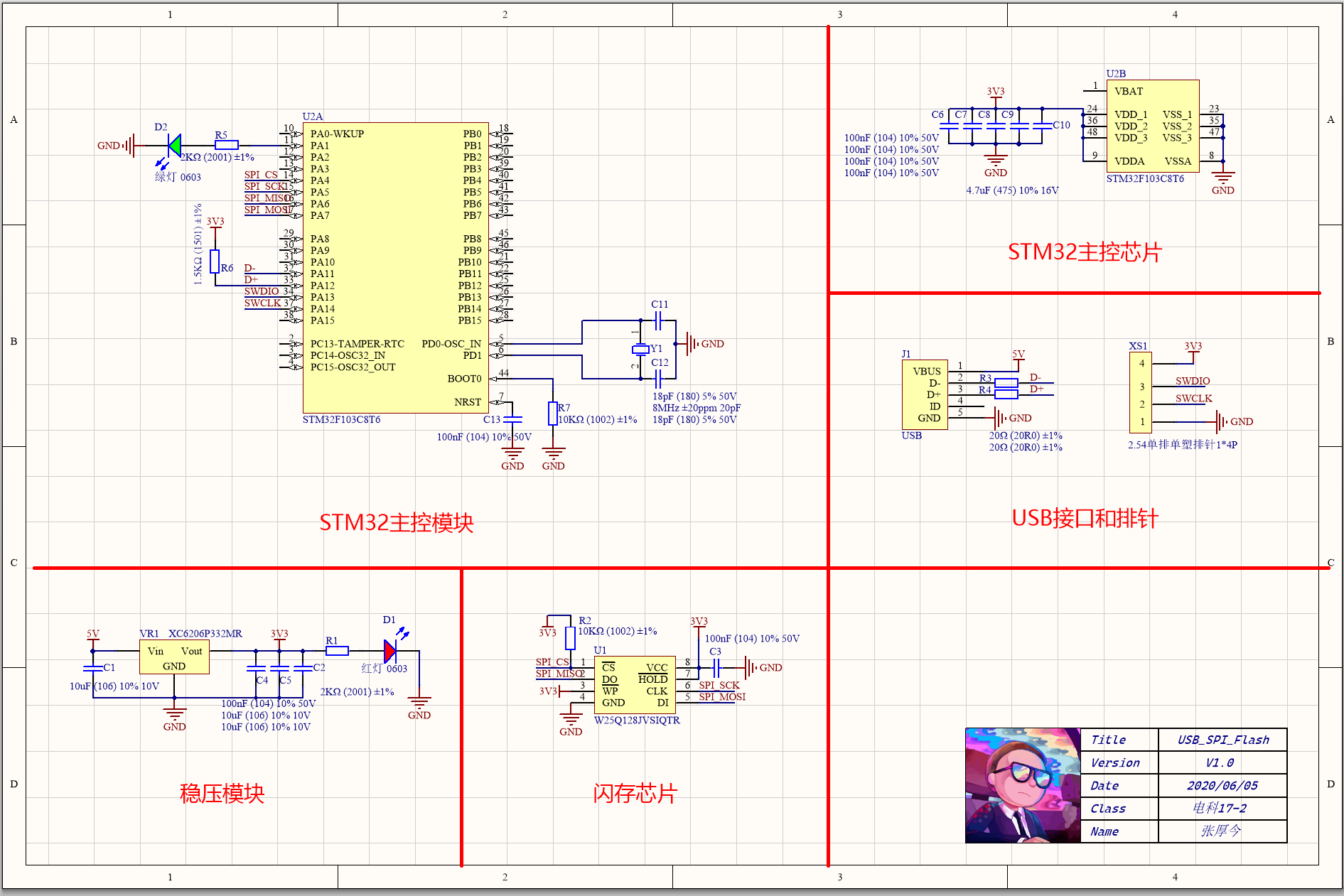


图5.1 原理图

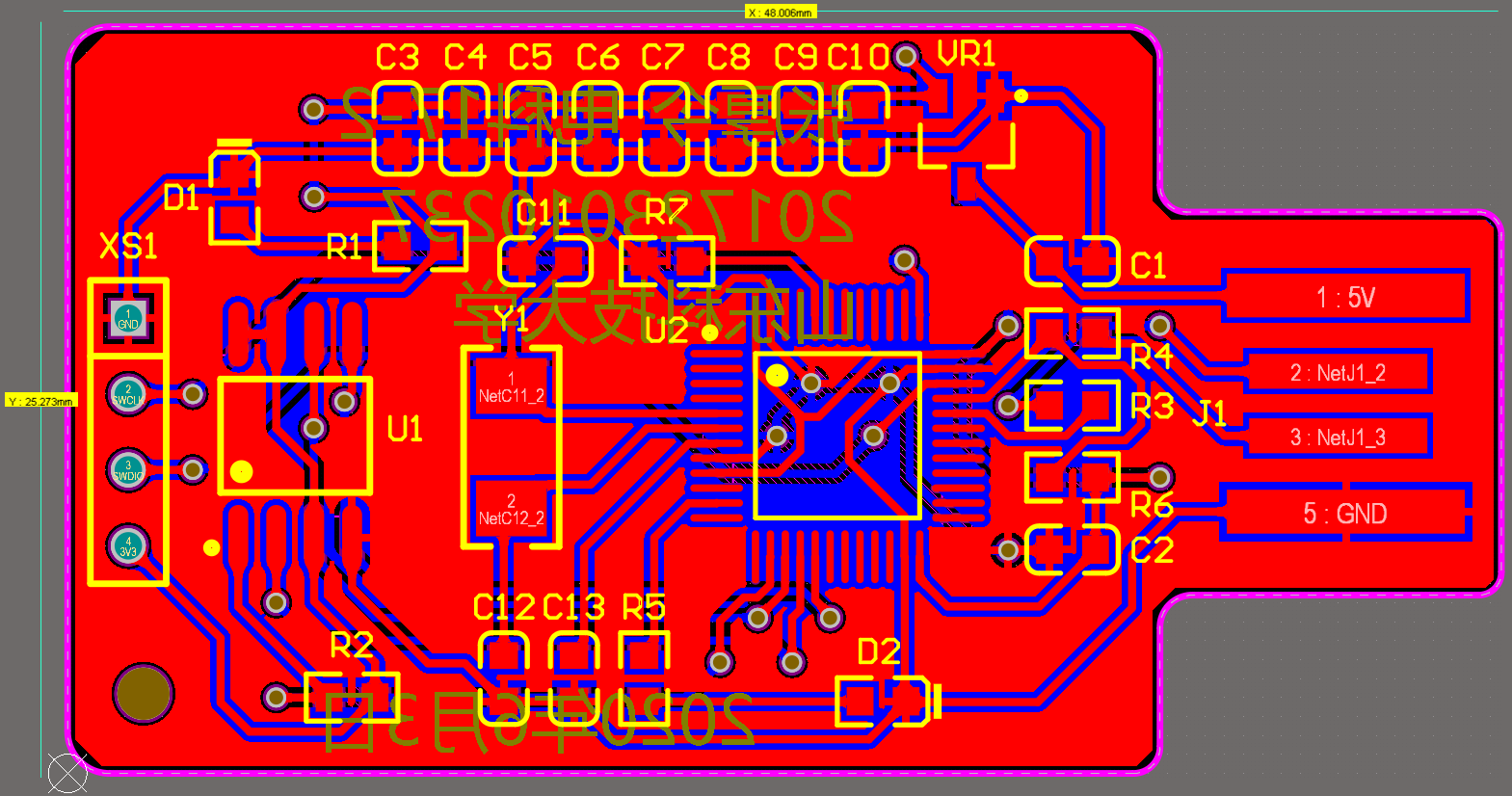


图5.2 PCB图