



BK2401/BK2421 Hardware Reference Design

BK2401/BK2421 硬件参考设计

V3.0

CONFIDENTIAL

Beken Corporation
博通集成电路(上海)有限公司
中国上海张江高科技园区
科苑路 1278 号 3A
电话: (86)21 5108 6811
传真: (86)21 6087 1277

文档含博通(BEKEN)公司保密信息, 非经书面许可, 不可外传



更改记录

版本号	日期	作者	注释
1.0	2009年7月20日	BEKEN	正式发布。
2.0	2010年1月5日	BEKEN	更新文档符合 BK2401/BK2421 芯片；增加 Wiggle 天线及所有天线的仿真测试结果。
3.0	2010年3月31日	BEKEN	更新文档符合 BEKEN V3.0 DEMO 板。

CONFIDENTIAL

目录

1. 本文档主要内容.....	5
2. NANO DONGLE 原理图设计	6
2.1. 原理图和 BOM 表.....	6
2.2. USB MCU 选择.....	9
2.3. 射频匹配电路.....	9
2.4. BK2401/BK2421 电源滤波.....	9
2.5. 16M 晶体选择	9
2.5.1 16M 晶体指标.....	9
2.5.2 使用 MCU 晶体作为输入.....	10
3. NANO DONGLE 版图 (PCB LAYOUT) 设计.....	11
3.1. 板材的选择.....	11
3.2. 天线 LAYOUT	11
3.3. 射频匹配电路 LAYOUT	11
3.4. BK2401/BK2421 芯片 LAYOUT	12
3.5. 3.3V 电源 LAYOUT	12
3.6. 16M 晶体 LAYOUT.....	13
3.7. 控制线 LAYOUT	14
3.8. USB MCU LAYOUT	14
4. 如何将 NANO PCB 应用到 NORMAL MODULE 中.....	15
5. 2.4G PCB 天线设计	17
5.1. 小尺寸 NANO DONGLE 用 PIFA 天线设计	17
5.2. 更大尺寸 NORMAL MODULE 用 PIFA 天线设计.....	20
5.3. 更大尺寸 NORMAL MODULE 用 WIGGLE 天线设计.....	23
6. 最终原理图和版图 CHECKLIST.....	26

图表

图表 1 NANO 的 USB MCU 原理图	6
图表 2 NANO 的 BK2401/BK2421 MODULE 原理图	7
图表 3 NANO DONGLE 的完整 BOM	8
图表 4 NANO DONGLE 匹配电路 LAYOUT	11
图表 5 BK2401/BK2421 芯片 LAYOUT	12
图表 6 3.3V 电源 LAYOUT	12
图表 7 NANO DONGLE 和 NORMAL MODULE 晶体 LAYOUT	13
图表 8 SPI 线 LAYOUT	14
图表 9 NORMAL MODULE 匹配电路 LAYOUT	15
图表 11 NANO DONGLE PIFA 天线	17
图表 12 NANO DONGLE PIFA 天线 S11	18
图表 13 NANO DONGLE PIFA 天线增益	19
图表 14 NORMAL MODULE PIFA 天线	20
图表 15 NORMAL MODULE PIFA 天线 S11	21
图表 16 NORMAL MODULE PIFA 天线增益	22
图表 17 NORMAL MODULE WIGGLE 天线	23
图表 18 NORMAL MODULE WIGGLE 天线 S11	24
图表 19 NORMAL MODULE WIGGLE 天线增益	25

CONFIDENTIAL

1. 本文档主要内容

本文档描述了用 BK2401/BK2421 如何简单快速地实现无线终端的硬件设计，该硬件方案可广泛应用于计算机周边及消费类无线终端设备中，如无线键鼠、无线语音、无线遥控及监视等。

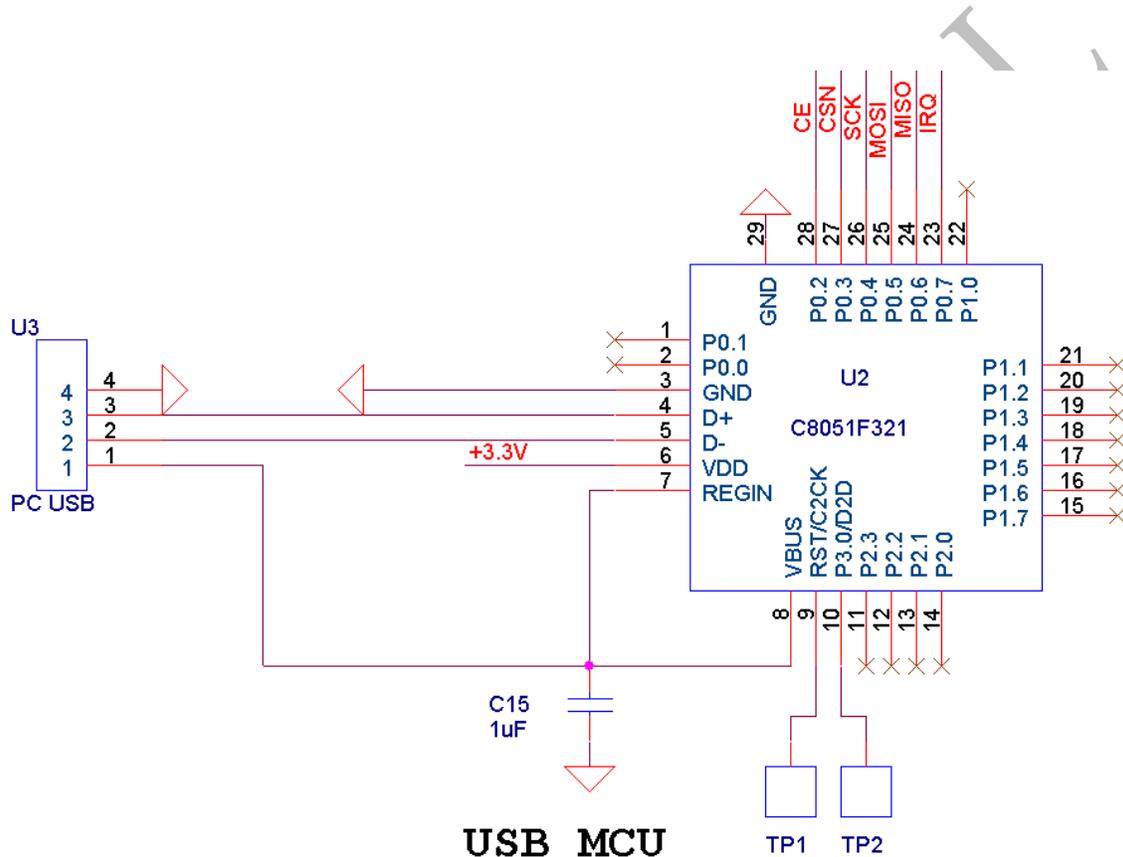
文档主要包括适用于设备微型化的[超小模块 Nano Dongle \(11mm*18mm\)](#) 的相关硬件设计（原理图及版图的设计、2.4G PCB 天线设计及相关元器件选择等）；以及在此基础上如何把 Nano Dongle 的 PCB 运用到对于体积要求不是特别严的 [Normal Module](#) 上，以获得更好的性能和更广泛的应用，从而加速基于 BK2401/BK2421 芯片的无线产品硬件开发。

本文档中需要特别关注的是射频匹配电路部分的原理图和版图，以及 PCB 天线的设计，请完全按照此参考设计的要求进行布局和布线!!!

2. Nano Dongle 原理图设计

Nano Dongle 的原理图有两部分组成：USB MCU 控制器和 BK2401/BK2421 2.4G 射频收发器模块，原理图中的值为 NL（不焊）和 0 ohm(欧姆)的元器件，为考虑调试和兼容性请不要删掉，在 Layout 中需保留位置，各个元件的具体型号及精度要求请参考 BOM 表。

2.1. 原理图和 BOM 表



图表 1 Nano 的 USB MCU 原理图

Nano Dongle 的完整 BOM 表如下:

Item	Qty	Ref	Value	Footprint	Description
1	1	ANT1	2.4G PIFA	2.4G Ant	2.4G PIFA Antenna
2	2	C1, C2	22pF*	0402	NPO +/-0.25pF, 6.3V
3	1	C4	NL	0402	Not Load
4	1	C5	2.2pF	0402	NPO +/-0.25pF, 6.3V
5	1	C6	1.2pF	0402	NPO +/-0.25pF, 6.3V
6	1	C7	33nF	0402	X7R, +/-10% 6.3V
7	1	C8	4.7pF	0402	NPO +/-0.25pF, 6.3V
8	1	C9	820nF	0402	X7R, +/-10% 6.3V
9	1	C10	NL	0402	Not Load
10	1	C15	1uF	0603	X5R, 16V
11	1	C16	10uF	1206	Tantalic Cap, 6.3V
12	1	L1	6.8nH	0402	Chip inductor +/-5%
13	1	L2	8.2nH	0402	Chip inductor +/-5%
14	1	L3	3.9nH	0402	Chip inductor +/-3nH
15	1	L4	0R	0402	Resistor, 0ohm
16	1	R2	22K	0402	Resistor, 22Kohm, 1%
17	1	R3	1M	0402	Resistor, 1Mohm, 5%
18	1	R4	10R	0402	Resistor, 10ohm, 5%
19	1	U1	BK2401/21	QFN20 4x4	BK2401/BK2421 chip
20	1	U2	C8051F321	MLP-28	Silab, MCU
21	1	U3	PC USB	PCUSB	USB Type A
22	1	X1	16MHz	XTAL 2X2X6	+/-60ppm, CL=12pF

*:When CL=12pF, $C1=C2=2 \times CL - 2pF=22pF$

图表 3 Nano Dongle 的完整 BOM

2.2. USB MCU 选择

原理图中包括一个 USB 单片机 (MCU) 控制芯片, 该 USB 单片机为 Silicon Labs 的 C8051F321 (MLP-28 封装), 内部集成了一个 5V 转 3.3V 的 LDO, PIN7=REGIN 为 5V 输入, PIN6=VDD 为 3.3V 输出给 BK2401/BK2421 供电, 两个测试点用来下载单片机程序。

用户可以选用其它相类似的 MCU 芯片, 由于 Nano 板子的面积非常小, 所以选用的 MCU 封装不应大于此芯片封装, 而且需要集成内部晶体振荡器、LDO 等相关外围设备, 其它供应商如 HOLTEK 的 HT82B40R。

2.3. 射频匹配电路

由于 BK2401/BK2421 为工作于 ISM 2.4G 高频的无线收发芯片, 其匹配电路对芯片射频性能有很大的影响, 从 BK2401/BK2421 PIN11=VDDPA, PIN12=RFP, PIN13=RFN 到天线 ANT1 之间的电路为 BK2401/BK2421 的射频匹配电路 (包括元器件 C8、C4、L2、L1、C5、L3、C6、L4、C10), 该电路主要包括两部分:

- ◆ L4 和 C10 为天线的匹配电路, 可以根据实际天线调整这两个匹配值。如果天线的输入阻抗已经设计成 50ohm (需要考虑实际机壳及周边设备对天线的影 响), 则此两元件可以去掉, 但考虑到实际 PCB 板材及各种应用环境, 建议这两个器件不要删除。由于参考设计中天线已为 50 ohm, 故 L4 用 0 ohm 代替, C10 不用焊接, 天线具体设计请参考 [2.4G PCB 天线设计](#)。
- ◆ 剩下的其它七个元器件为芯片的匹配电路, 主要实现功能为: 信号的差分与单端互转; 高次谐波及本振信号的滤波; 及信号本身的匹配 (为达到最优的输出功率及接收灵敏度), 由于此部分元器件值严重影响射频性能, 其值与 Layout 设计必须严格按照本 文档及附带文件中推荐的方法设计。

2.4. BK2401/BK2421 电源滤波

从 MCU LDO 出来的 3.3V 给 BK2401/BK2421 供电, 由于 Nano 板子非常小, 没有很完整的地和很干净的电源, 所以给 BK2401/BK2421 的电源上需要加 RC 电路用来滤波, R4 为 10 欧姆电阻, 大的钽电容和小电容并联靠近 BK2401/BK2421 芯片 PIN 脚放置。

2.5. 16M 晶体选择

2.5.1 16M 晶体指标

由于 Nano Dongle 的空间限制, 及尽量考虑 BK2401/BK2421 背面有一个相对完整的地平面, 所以宜选用 2mm*6mm 的柱状晶体, 该晶体规格参数要求如下 (BEKEN 使用的晶体由深圳新天源电子有限公司生产):

- ◆ **工作频率:** 16MHz±60ppm。注意: 这里的±60ppm 为总的频率偏差, 包括稳定性即个体差异、温度频偏和老化频偏等其它各种因素。
- ◆ **负载电容:** 为能正常快速起振, 负载电容 CL 最大 16pF。
(如选 CL=12pF, 则由于芯片内部电容和 PCB 寄生电容总共约 2~3pF 电容, C1=C2 取值为 $2 \times 12\text{pF} - 2\text{pF} = 22\text{pF}$, C1, C2 由于影响到频率偏移, 应尽量选精度高的电容, 如 NP0±0.25pF。)
- ◆ **串联谐振电阻:** 该电阻为晶体寄生串联谐振电阻, 值最大为 100 欧姆。
- ◆ **分布电容:** 该为晶体寄生分布电容, 值最大为 5pF。

焊接注意：由于柱状晶体不能长时间高温焊接，所以不能过回流炉，需要手工焊接，焊接停留时间（包括晶体 PIN 脚和晶体外壳焊接时间）**每个地方不能超过 5 秒**，否则有可能导致晶体损坏，如需了解更详细的焊接工艺，请联系晶体生产厂商。

2.5.2 使用 MCU 晶体作为输入

如果 MCU 有 16M 晶体输出，则 BK24x1 可以与 MCU 共用晶体。MCU 的晶体输出 PIN 脚直接接到 BK24x1 的晶体输入 PIN 脚 PIN10=XTALN 即可,此时 PIN9=XTALP 留空，R3=C1=C2=NL 不焊，晶体的负载电容 CL 和其它参数由 MCU 晶体决定，需要通过调节 MCU 电容来调频偏。通常要求晶体输入信号的峰峰值大于 400mV，越大会越好的信噪比和越低的电流消耗，但是幅度也不要超过 rail 电压，否则 ESD 二极管工作会恶化性能。

CONFIDENTIAL

3. Nano Dongle 版图 (PCB Layout) 设计

此 Nano Dongle 的板子为两层板 (top 层和 bottom 层), 元器件尽量放在 top 面, bottom 面尽量有完整的地平面, 元器件的接地 PIN 应就近直接打过孔到 bottom 面。

Layout 中特别要注意的是射频匹配电路的设计, 应完全按照我们的参考设计布局布线。

3.1. 板材的选择

BK2401/BK2421 Nano Dongle 板子采用最常用的双面 FR4 板材结构, 板厚为 0.6mm。

3.2. 天线 Layout

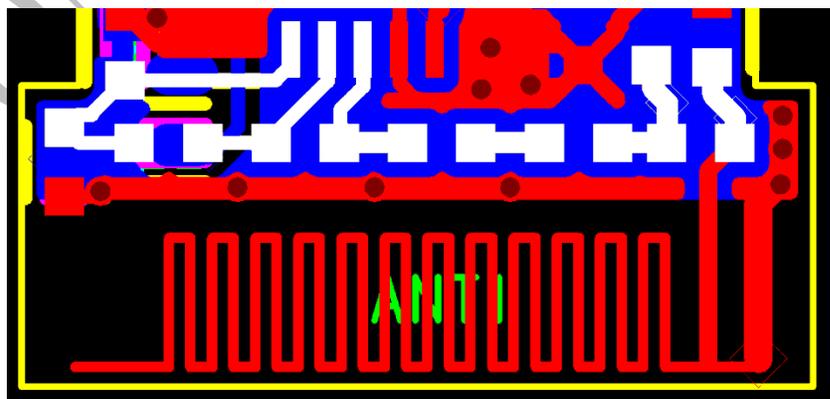
由于天线性能受板材 (板厚、介质等) 与周围环境 (外壳、人体、天线离 PCB 地平面距离等) 诸多因素的影响, 所以天线需选择经过验证的结构, BEKEN 推荐的 PIFA (Printed Inverted F Antenna) 天线和 Wiggle 天线都经过仿真和实测 (考虑机壳等影响), 天线具体设计请参考 [2.4G PCB 天线设计](#)。

天线 Layout 时需要注意:

- ◆ 天线 top 部分及对应 bottom 层都需要净空, 不能铺铜;
- ◆ PIFA 天线短路臂连到地以后, 至少有两个对地过孔直接到 bottom 层;
- ◆ 天线与 PCB 铺铜地之间的距离应大于 0.5mm, 靠近天线沿着地平面应该打一排对地过孔;
- ◆ 天线周围最好不要有金属结构或元器件、铺地平面等, 最多在其中一面距离一定间隔 (至少 5mm) 可以放一些元器件。

3.3. 射频匹配电路 Layout

由于射频匹配电路的 PCB Layout 会严重影响到射频性能, 强烈建议完全按照我们已经优化的值和 layout 进行布局和布线, 包括元器件与铺铜地之间的间隔 (推荐为 0.2mm), 地地过孔的选择 (应尽可能的多), 如下图中高亮部分即为 Nano Dongle 的匹配电路 Layout。



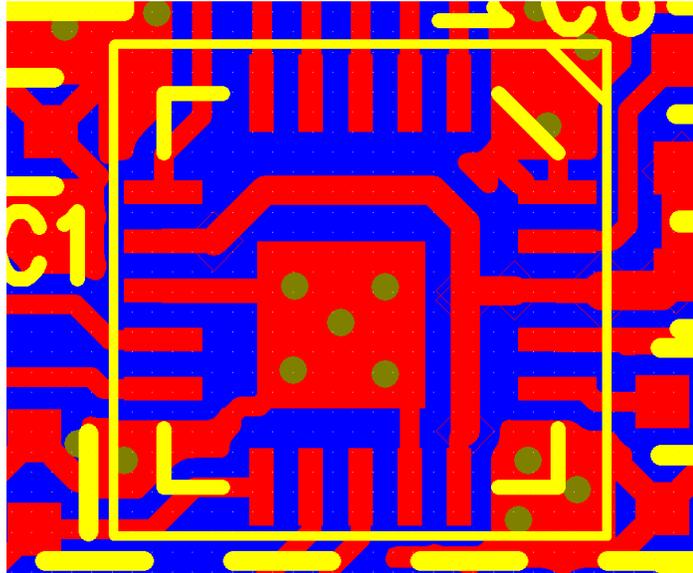
图表 4 Nano Dongle 匹配电路 Layout

匹配电路对应的 bottom 层地平面应尽量为完整地平面, 最好不要有任何走线和元器件, 实际 Nano 设计中由于空间受限, 晶体放在 VDDPA 走线下面了, 如果空间允许, 应尽量避免。

3.4. BK2401/BK2421 芯片 Layout

BK2401/BK2421 为 4mm*4mm QFN 封装的芯片，其芯片底下是需要接地的，PCB 做库的时候在芯片中心需加接地的大 pad，为保证与 PCB 底层 bottom 的地平面完整接地，pad 中心至少需要四个地地过孔（Vias），而且手工焊接时需预先在 pad 上加锡处理。

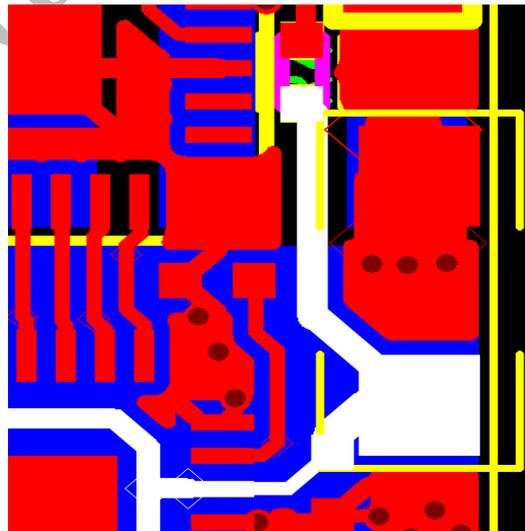
BK2401/BK2421 芯片下面对应的 bottom 层尽量不要有走线和元器件，特别是靠近射频匹配电路的部分，完整的地平面能保证良好的射频性能。



图表 5 BK2401/BK2421 芯片 Layout

3.5. 3.3V 电源 Layout

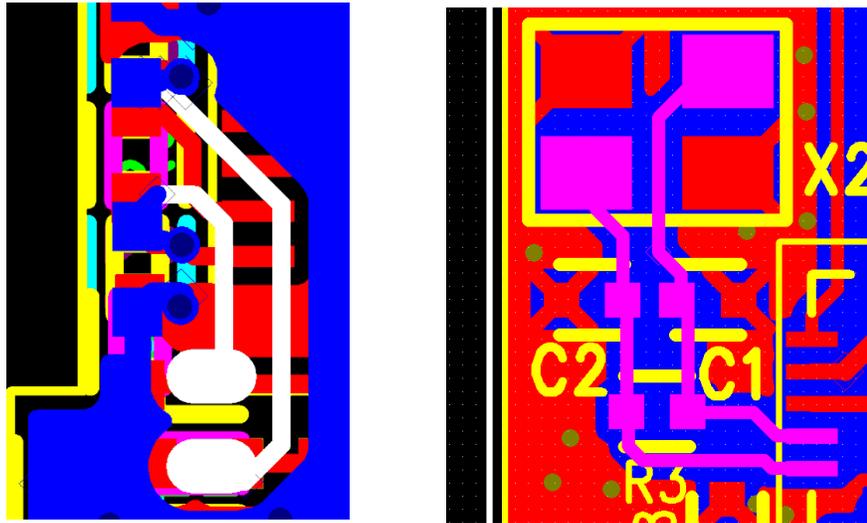
BK2401/BK2421 的电源来自 MCU 的 LDO, 10ohm 串联电阻和一大一小两个并联电容对电源低通滤波，两个电容靠近 BK2401/BK2421 芯片 PIN 脚放置，小电容需更靠近芯片 PIN 脚，电源走线需先进入电容 pad，再从电容 pad 引线出来，如下图高亮走线。



图表 6 3.3V 电源 Layout

3.6. 16M 晶体 Layout

晶体对应的平面应尽量为完整地平面，最好不要有任何走线和元器件，实际 Nano Dongle 设计中由于空间受限，晶体放在 VDDPA 走线下面了(下图左边)，如果空间允许，应尽量避免，如下图右边的 Normal Module 中的晶体底下为完整地平面。

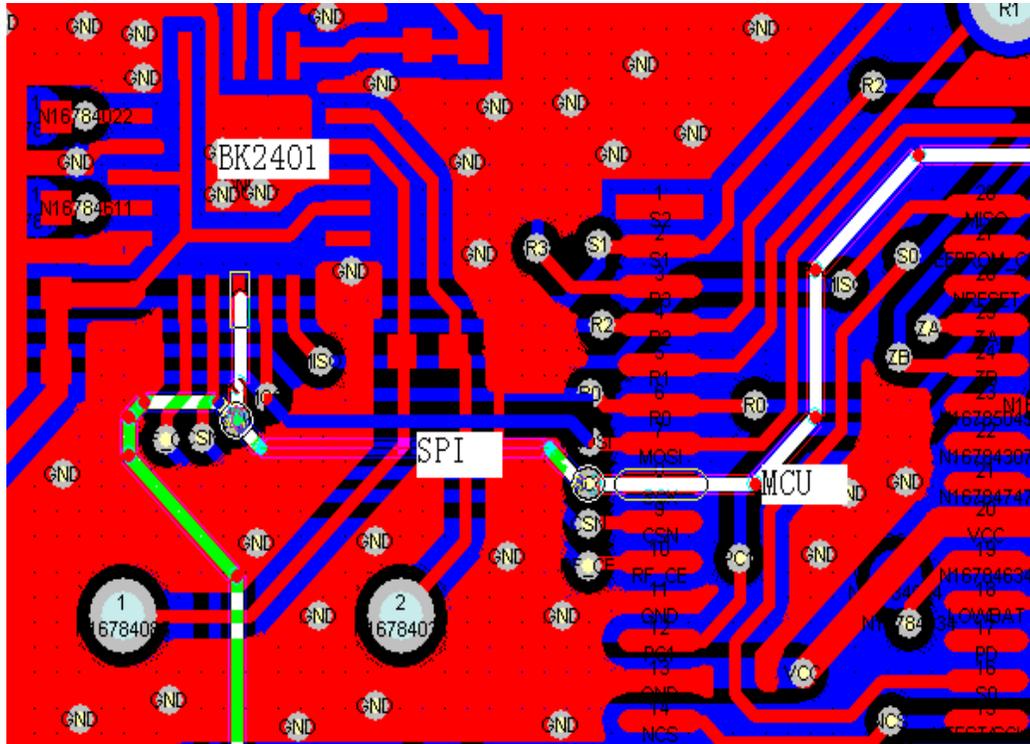


图表 7 Nano Dongle 和 Normal Module 晶体 Layout

3.7. 控制线 Layout

BK2401/BK2421 与 MCU 交互的 SPI 控制线，特别是其中两根对 BK2401/BK2421 芯片输入的 SCK、MOSI 线，需要特别小心，尽量不要与其它器件共用，走线尽量短，布局时需考虑 MCU 的 SPI I/O 口靠近 BK2401/BK2421 放置，线四周需包地处理，以免受外界干扰。

如下图为 BK2401/BK2421 与 MCU 应用的例子，MCU 的 SPI 口需尽可能靠近 BK2401/BK2421 放置，走线尽可能短，MCU 地尽量完整。



图表 8 SPI 线 Layout

3.8. USB MCU Layout

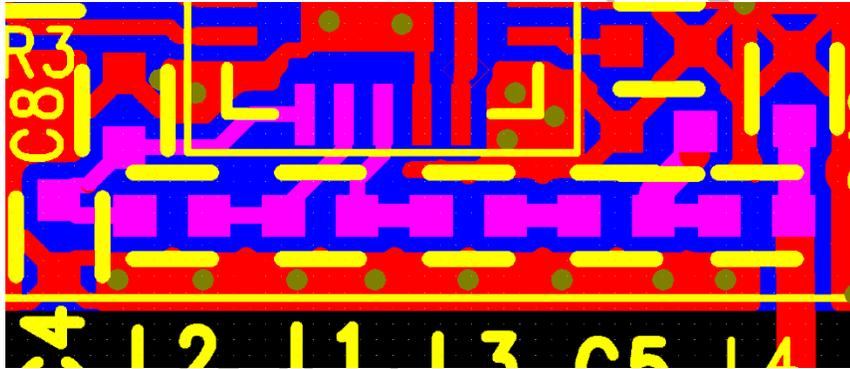
MCU 的 5V 电源由 USB 直接供给，根据不同的 MCU 需要适当加滤波电容，由于板子所有地都通过 USB 的地 PIN 与计算机相连，所以 USB 的地 PIN 应尽可能多打孔与 BK2401/BK2421 的地网络相连。

4. 如何将 Nano PCB 应用到 Normal Module 中

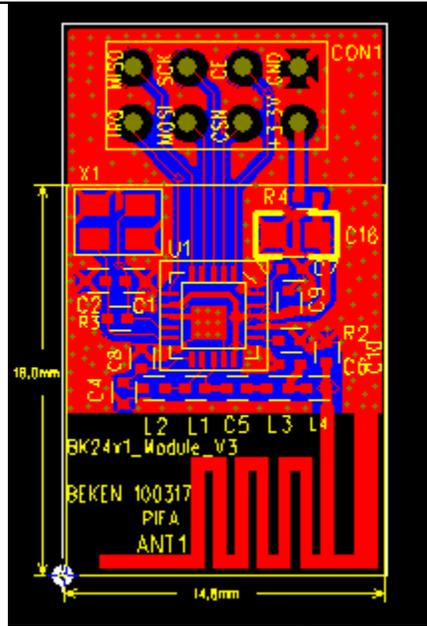
前面的原理图和版图设计都是针对最小的 Nano Dongle 设计的，由于空间受限，有些元器件的选择和版图设计不是最优化的，如没有相对大面积的参考地、天线因为空间限制不能做得更大、晶体可选范围窄、电源也可能载有干扰噪声，因而对于 PCB 面积局限不大的应用（如无线鼠标 PCB），可以在 Nano PCB 的基础上设计 Normal Module，以获得更好的性能和更广泛的应用。

要从 Nano PCB 转到 Normal Module PCB 最关键的一点是：射频匹配部分电路的布局、布线，元器件与铺铜地平面之间的距离（0.2mm）都要保持不变，板材也尽量保持不变（但实际中大板子板厚一般会大于 0.6mm），由于可用面积更大，可以适当加大铺地面积和地孔数量。

下面是用 Nano Dongle 的 PCB 移植到 Normal Module 上的一个例子，PCB 板厚为 1mm，射频匹配部分电路的布局、布线与 Nano Dongle 中的完全相同，bottom 层除天线部分，其它全为地平面：



图表 9 Normal Module 匹配电路 Layout



图表 10 Normal Module 完整 Layout

从图中可知：

- ◆ 更完整的地平面（BK2401/BK2421 module 部分的 bottom 层全为地，没有任何走线和元器件）；
- 如果 BK2401/BK2421 模块与其它电路共同布板（如无线鼠标 PCB），可以把 BK2401/BK2421 模块地和其它数字信号地之间适当隔开，以免受到影响。
- ◆ 更大尺寸更好性能的天线；
 - ◆ 可以选用性价比及焊接性更好的大晶体；

5. 2.4G PCB 天线设计

本节主要讨论的是 2.4G PCB 天线，如果不考虑成本及体积，可以选用其它天线，如贴片天线（小尺寸、中性能、中成本）或外置的鞭状天线（大尺寸、高性能、高成本），而 PCB 天线是最低成本、中等尺寸，只要设计得当又能获得足够性能的天线。

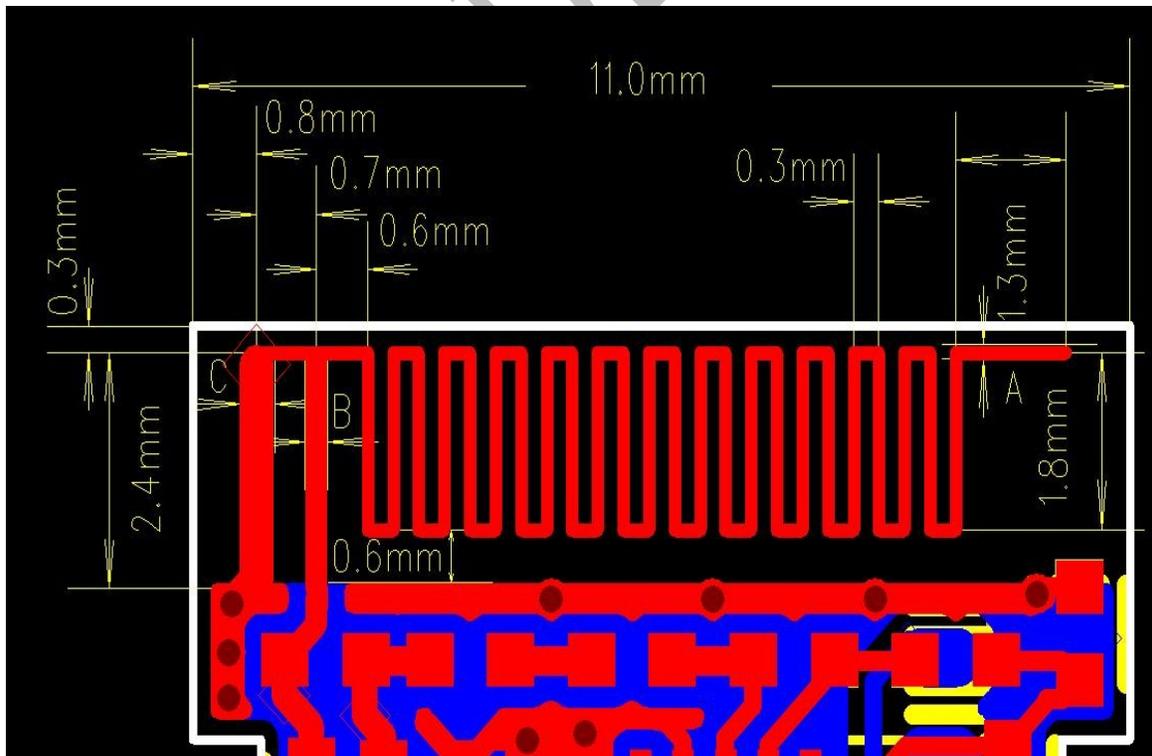
本节中包括三种天线：

- ◆ 超小型 PIFA 天线：用于 Nano Dongle 的 PCB 天线，由于 PCB 空间受限，最大增益会比其它几种天线小 6dB 左右，即工作距离会短一半。由此天线及 MCU 做成的完整板子大小为 11mm*18mm 左右。
- ◆ 正常 PIFA 天线：用于 Normal Module 的 PCB 天线，所占 PCB 空间最大，最大增益可以达到 1.5dB，如 PCB 面积足够，建议用此天线。由此天线做成的 RF Module 板子大小为 15mm*18mm 左右。
- ◆ 正常 Wiggle 天线：用于 Normal Module 的 PCB 天线，所占 PCB 空间比第二种稍小，增益也稍差 1dB，可以用于对体积稍有要求的无线终端，如对于空间比较紧凑的无线鼠标等设备。由此天线做成的 RF Module 板子大小为 13mm*18mm 左右。

5.1. 小尺寸 Nano Dongle 用 PIFA 天线设计

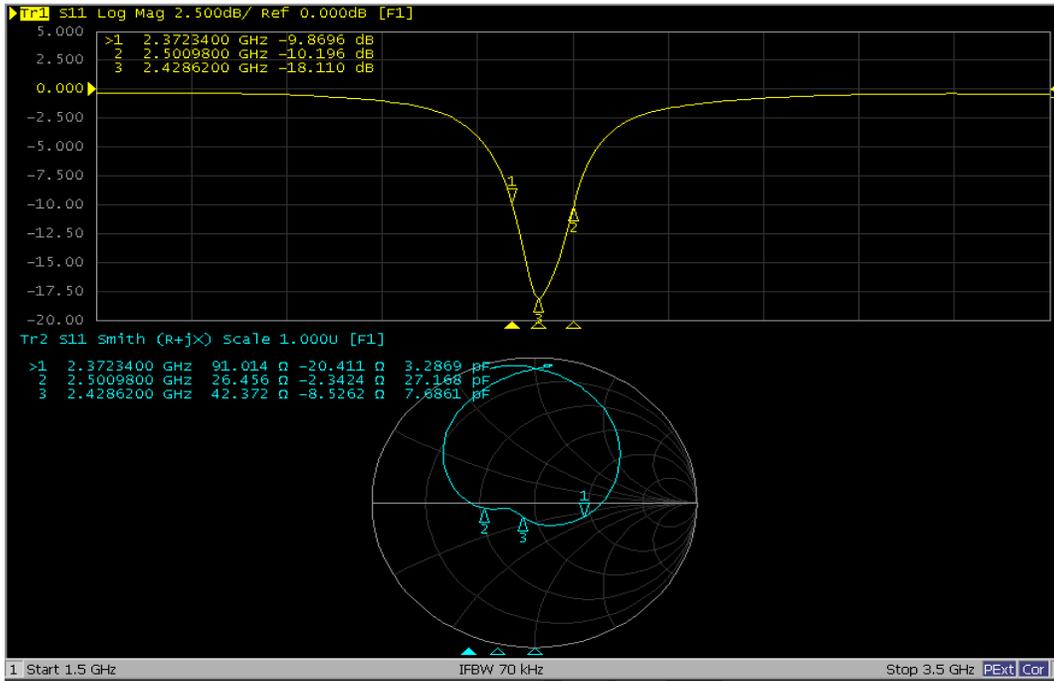
天线具体尺寸如下图（板材为两层 FR4, 板厚 0.6mm）：

其中天线线宽 A: 0.15mm; B: 0.25mm; C: 0.4mm



图表 11 Nano Dongle PIFA 天线

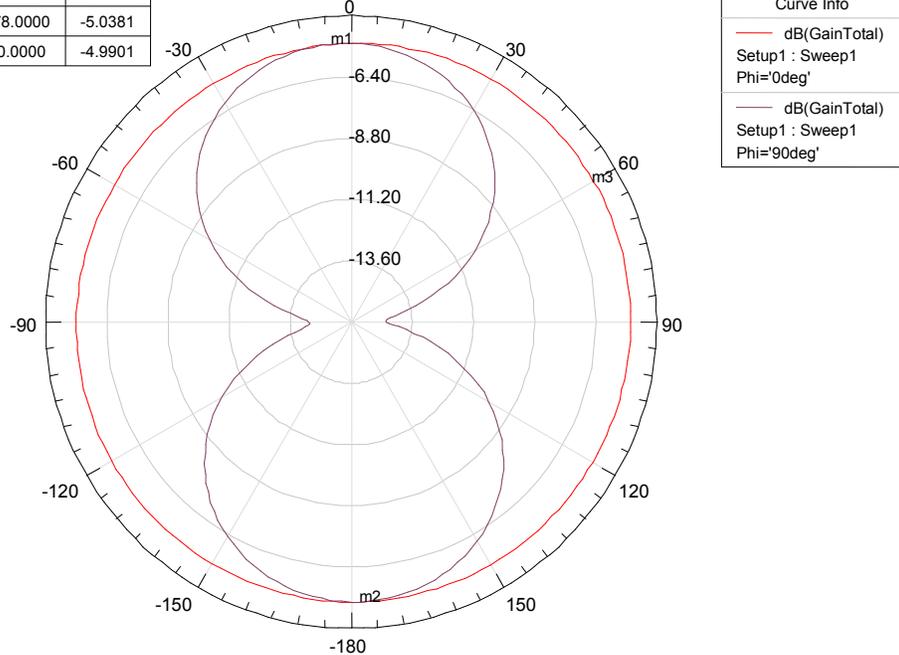
天线性能 S11 如下，工作频段覆盖整个 2.4G ISM 频段:

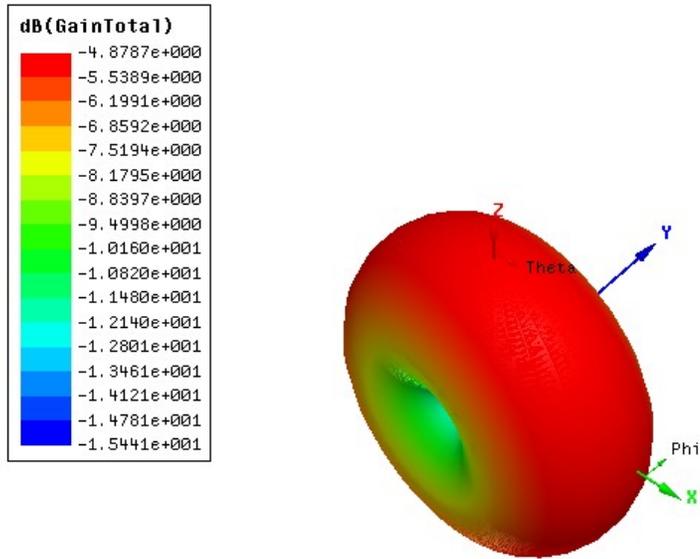


图表 12 Nano Dongle PIFA 天线 S11

2D 和 3D 增益如下，该天线最大增益只有 -5dB 左右:

Name	Theta	Ang	Mag
m1	-4.0000	-4.0000	-5.0989
m2	178.0000	178.0000	-5.0381
m3	60.0000	60.0000	-4.9901





图表 13 Nano Dongle PIFA 天线增益

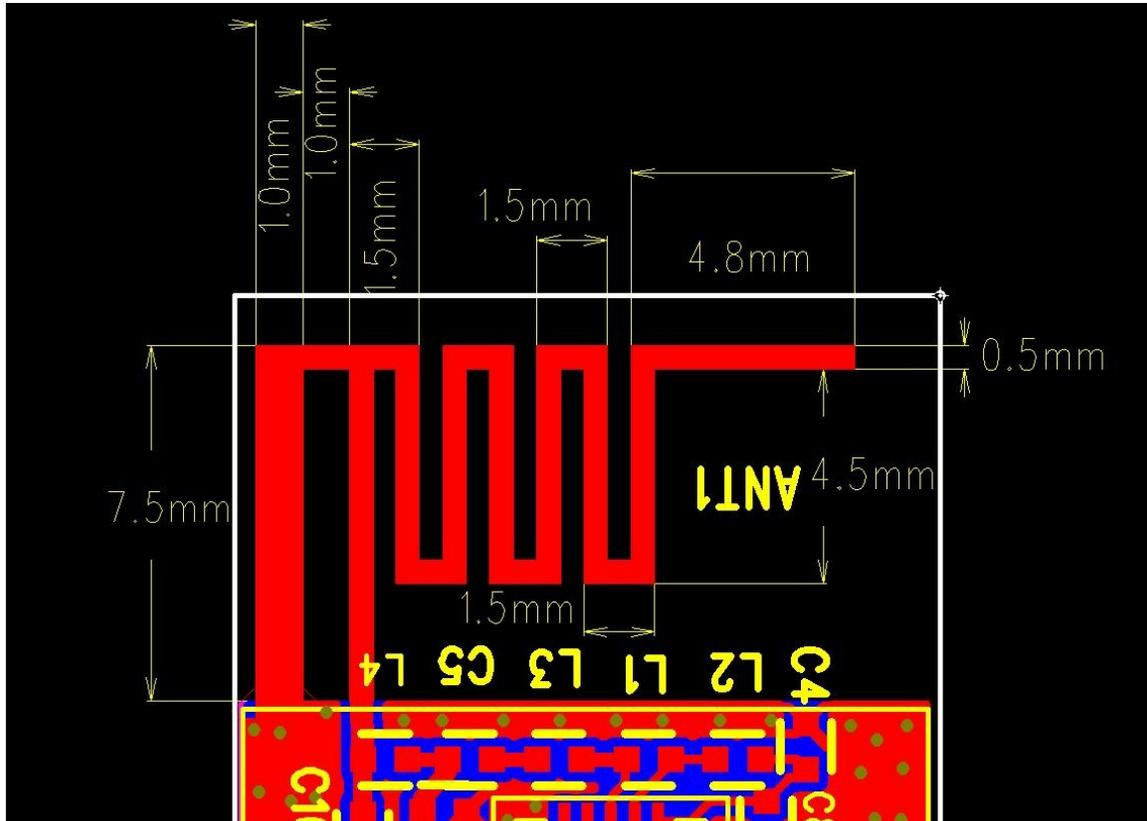
CONFIDENTIAL

5.2. 更大尺寸 Normal Module 用 PIFA 天线设计

该天线结构就是 Normal Module 完整 Layout 中的 PIFA 天线。

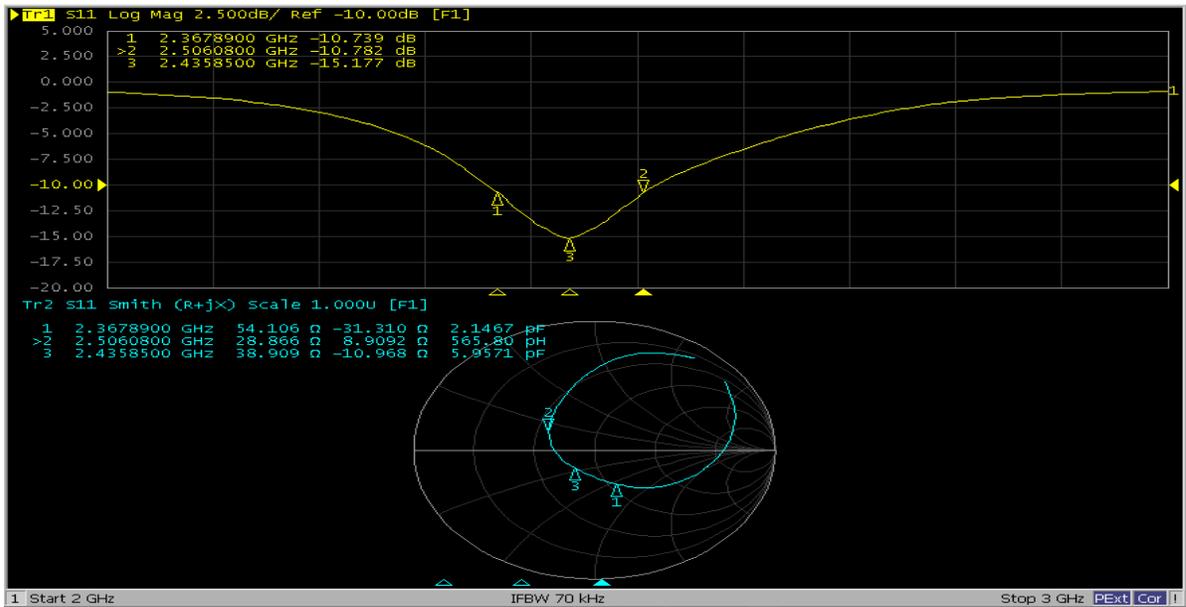
天线具体尺寸如下图（板材为两层 FR4,板厚 1.0mm），如果板子厚度和板子大小与此不一致（板厚和地面积大小影响性能），则 Layout 时需加长天线末端尺寸，如增加最后端 4.8mm 的长度，供调试天线用。

由此天线做成的 RF Module 板子大小为 15mm*18mm 左右。



图表 14 Normal Module PIFA 天线

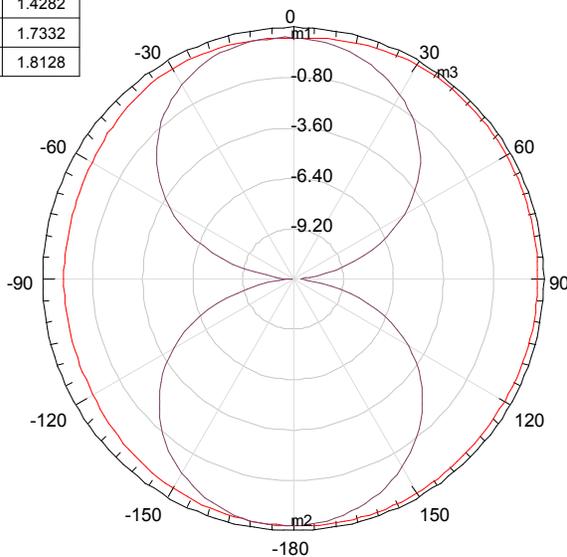
天线性能 S11 如下，工作频段覆盖整个 2.4G ISM 频段，可以看到天线工作带宽比 Nano 更大：



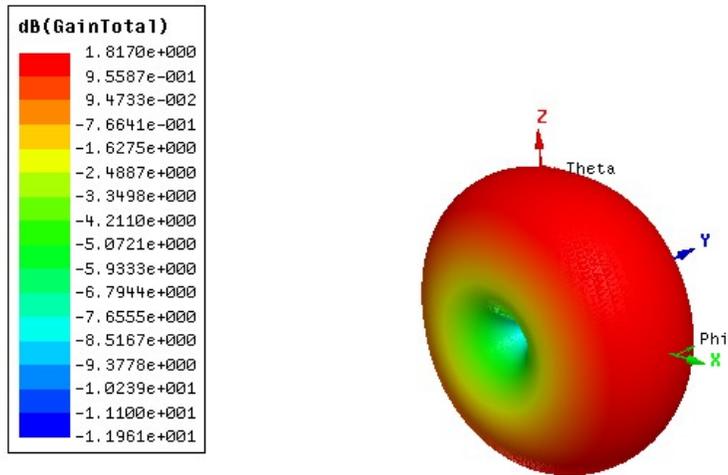
图表 15 Normal Module PIFA 天线 S11

2D 和 3D 增益如下，该天线最大增益比 Nano 大 6dB 左右，达到 1.5dB 左右：

Name	Theta	Ang	Mag
m1	0.0000	0.0000	1.4282
m2	180.0000	180.0000	1.7332
m3	36.0000	36.0000	1.8128



Curve Info	
—	dB(GainTotal)
Setup1 : Sweep1	Phi=0deg'
—	dB(GainTotal)
Setup1 : Sweep1	Phi=90.0000000000002deg'



图表 16 Normal Module PIFA 天线增益

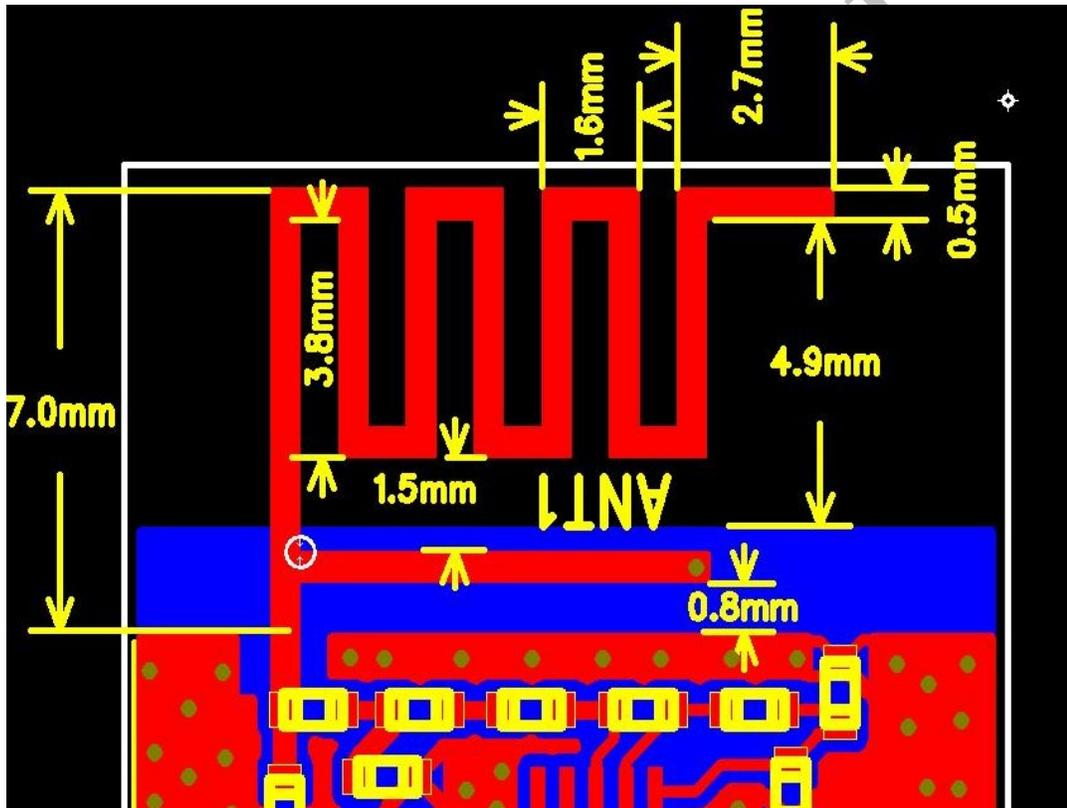
CONFIDENTIAL

5.3. 更大尺寸 Normal Module 用 Wiggle 天线设计

Wiggle 天线比大 PIFA 天线占用空间更小，应用更灵活，而性能亦差不多，广泛应用于无线键鼠产品当中。

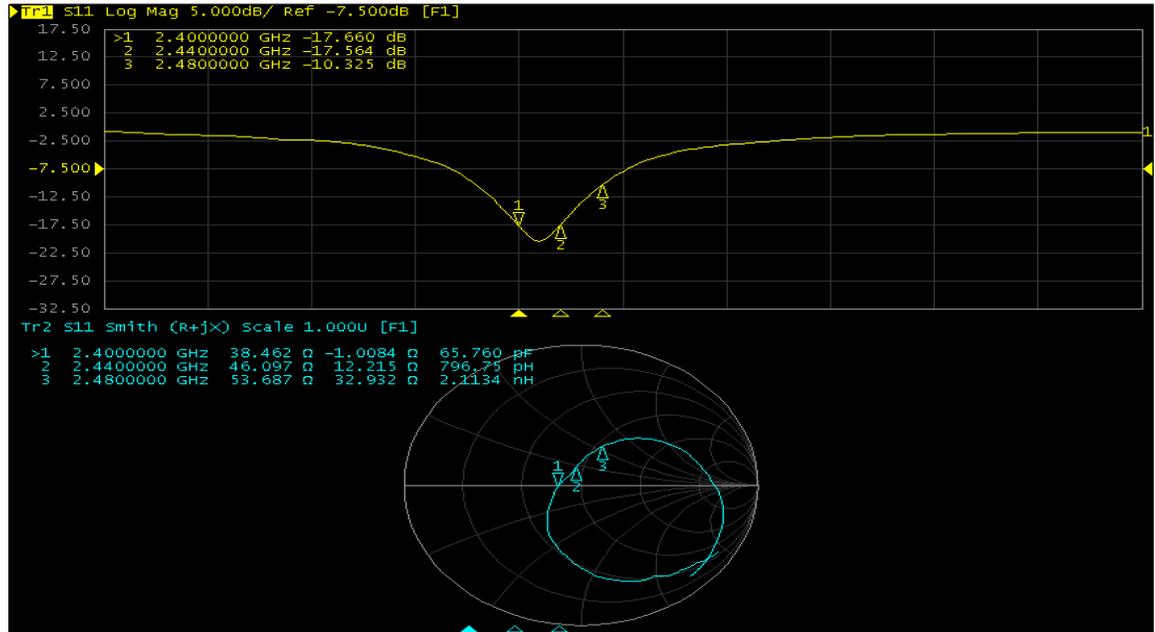
天线具体尺寸如下图（板材为两层 FR4, 板厚 1.0mm），如果板子厚度和板子大小与此不一致（板厚和地面积大小影响性能），则 Layout 时需加长天线末端尺寸，如增加最后端 2.7mm 的长度，供调试天线用。

由此天线做成的 RF Module 板子大小为 13mm*18mm 左右。



图表 17 Normal Module Wiggle 天线

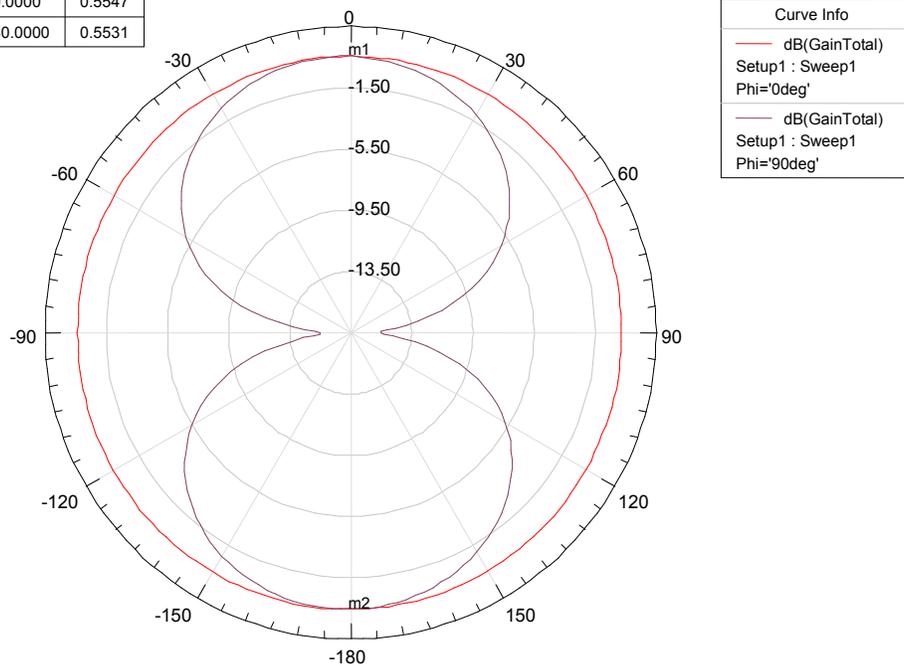
天线性能 S11 如下，工作频段覆盖整个 2.4G ISM 频段：

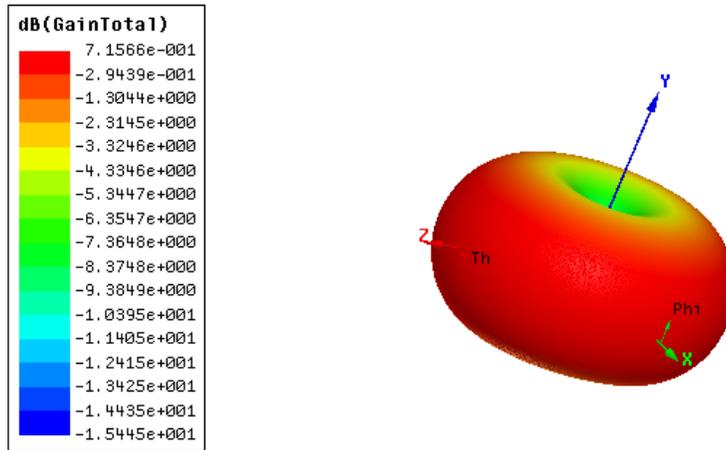


图表 18 Normal Module Wiggle 天线 S11

2D 和 3D 增益如下，该天线最大增益比 Normal PIFA 稍小 1dB 左右：

Name	Theta	Ang	Mag
m1	0.0000	0.0000	0.5547
m2	180.0000	180.0000	0.5531





图表 19 Normal Module Wiggle 天线增益

CONFIDENTIAL

6. 最终原理图和版图 Checklist

当完成 PCB 设计，准备投板之前，请依次检查是否已经考虑了前面的设计要求，以下是一些必须满足的项目。

原理图方面：

- ◆ 原理图中有几个 NL（不焊）和 0ohm(欧姆)的元器件不要删掉；
- ◆ C1 和 C2 需要根据 CL 来算值，如 $CL=12\text{pF}$ ，则 $C1=C2=2 \times 12\text{pF} - 2\text{pF} = 22\text{pF}$ ；
- ◆ 用于电源滤波的串联电阻和并联大电容建议加上；
- ◆ BK2401/BK2421 周围的其它元器件值必须与参考设计完全一致；

版图方面：

- ◆ 射频匹配电路的版图是否与参考设计完全一致；
- ◆ 天线 top 部分及对应 bottom 层都需要净空，不能铺铜；
- ◆ 与 MCU 相连的 SPI 接口应尽量短，四周需包地防干扰处理；
- ◆ Bottom 层尽量有干净完整的地平面；
- ◆ BK2401/BK2421 芯片底下的地 pad 至少需要四个地地过孔（Vias）与 bottom 层相连；
- ◆ 给 BK2401/BK2421 的供电应按要求尽量走得干净；
- ◆ USB 的地 PIN 应尽可能多的与板子地相连；