# GigaDevice Semiconductor Inc.

# GD32VW553 射频产测指南

应用笔记

**AN147**

1.2 版本

（2025 年 3 月）

# 目录

目录 ..... 2
图索引 ..... 4
表索引 ..... 5
1. 前言 ..... 6
2. 测试环境 ..... 7
3. 测试准备 ..... 8
3.1. 软硬件配置 ..... 8
3.2. 串口命令汇总说明 ..... 8
4. Efuse 说明 ..... 12
5. 测试流程 ..... 14
5.1. Enable MP Mode ..... 15
5.2. Frequency Error Calibration ..... 15
5.2.1. 流程框图 ..... 15
5.2.2. 具体流程 ..... 15
5.3. Set WiFi Target Value ..... 16
5.4. WiFi Tx Power Calibration ..... 17
5.4.1. 流程框图 ..... 17
5.4.2. 具体流程 ..... 18
5.5. BLE Tx Power Calibration ..... 20
5.5.1. 流程框图 ..... 20
5.5.2. 具体流程 ..... 20
5.6. WiFi Tx Verification ..... 22
5.6.1. 流程框图 ..... 22
5.6.2. 具体流程 ..... 22
5.6.3. 测试项及测试指标 ..... 23
5.7. WiFi Rx Verification ..... 23
5.7.1. 流程框图 ..... 23
5.7.2. 具体流程 ..... 24
5.7.3. 测试项及测试指标 ..... 24
5.8. BLE Tx Verification ..... 25
5.8.1. 流程框图 ..... 25
5.8.2. 具体流程 ..... 25
5.8.3. 测试项及测试指标 ..... 25
5.9. BLE Rx Verification ..... 26
5.9.1. 流程框图 ..... 26
5.9.2. 具体流程 ..... 26

5.9.3. 测试项及测试指标 ..... 26
5.10. Write Efuse ..... 27
5.10.1. 确定所写内容 ..... 27
5.10.2. 完整写 efuse 举例 ..... 28
5.10.3. Efuse 可用空间说明 ..... 28
6. 版本历史 ..... 29

# 图索引

图 2-1. 测试环境 ..... 7
图 5-1. RF Calibration 流程 ..... 14
图 5-2. Frequency Error Calibration 流程 ..... 15
图 5-3. Tx Power Calibration 流程 ..... 18
图 5-4. BLE Tx Power Calibration 流程 ..... 20
图 5-5. WiFi Tx Verification 流程 ..... 22
图 5-6. WiFi Rx Verification 流程 ..... 24
图 5-7. BLE Tx Verification 流程 ..... 25
图 5-8. BLE Rx Verification 流程 ..... 26

# 表索引

表 3-1. CMD wifi_set_mp_targetpwr 各参数说明 ..... 8
表 3-2. CMD wifi_tx_duty <rate>参数说明 ..... 9
表 3-3. CMD ble_test_tx 各参数说明 ..... 10
表 3-4. CMD ble_test_rx 各参数说明 ..... 11
表 4-1. Efuse Map ..... 12
表 4-2. Efuse 定义 ..... 13
表 5-1. FreqTuning 具体定义 ..... 16
表 5-2. 设置 WiFi 目标功率说明 ..... 17
表 5-3. WiFi 校准功率差值与功率补偿值关系 ..... 19
表 5-4. CMD wifi_set_mp_pcom 各参数说明 ..... 19
表 5-5. BLE Target Power ..... 20
表 5-6. BLE Max Power ..... 21
表 5-7. BLE 校准功率差值与功率补偿值关系 ..... 21
表 5-8. WiFi Tx Verification 推荐指标 ..... 23
表 5-9. WiFi Rx Verification 推荐指标 ..... 24
表 5-10. BLE Tx Verification 推荐指标 ..... 25
表 5-11. BLE Rx Verification 推荐指标 ..... 27
表 5-12. TXPowerLimit_byMode 具体定义 ..... 27
表 5-13. MAC 地址具体定义 ..... 28
表 6-1. 版本历史 ..... 29

# 1. 前言

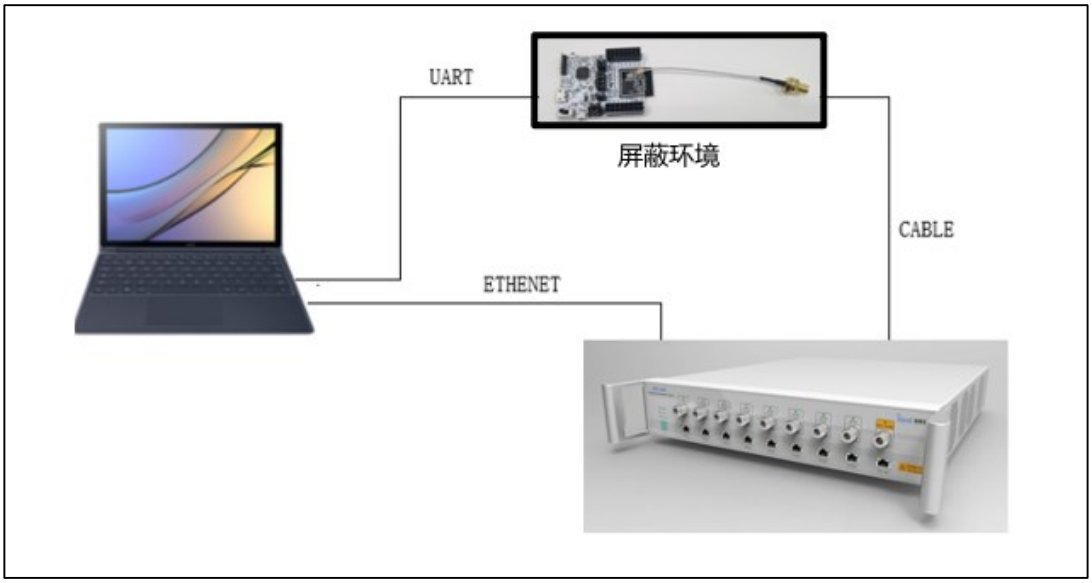
本文主要用于指导客户对 GD32VW553 系列芯片 PCB 进行产线射频校准与测试。第二章内容为测试环境的搭建方法。第三章内容为测试前的准备。第四章内容为芯片 Efuse 说明。第五章内容为测试流程及具体测试步骤。第六章内容为版本历史。

# 2. 测试环境

GD32VW553 系列芯片的产线射频校准与测试的环境为：

上位机（Host）通过网线连接综测仪（RF Tester，如极致汇仪的 iTest WT328 等)，并通过串口连接 DUT（GD32VW553 PCB 板)，使用串口 CMD 通信控制 DUT；DUT 的射频口与 RF Tester 通过射频线缆相连接。DUT 必须置于屏蔽环境。如*图 2-1. 测试环境*所示。

**图 2-1. 测试环境**



# 3. 测试准备

## 3.1. 软硬件配置

在进行 RF Calibration 之前，需确认以下配置：

- 固件版本：“image-all-rf-test.bin”
- 供电能力：3.3v，至少 500mA
- 通信方式：串口通信，需连接 GD32VW553 串口（固件默认为 GPIO_PA6 & GPIO_PA7，也可根据实际需求相应修改）
- 启动配置：BOOT0 拉低；PU & NRST 拉高
- 测试环境：室温、DUT 置于屏蔽环境

## 3.2. 串口命令汇总说明

以下为本文中所涉及的串口命令汇总及其说明。以下命令（除 **rf_efuse <operation> [item] [size] [value]**外）设置结果掉电均不保存。命令格式中**<>**为必填参数；**[]**为选填参数，若不填则使用默认值 0。各命令具体用法在*测试流程*中会做详细介绍

**rf_mp_mode <mode>**

设置芯片 MP 测试模式，取值范围 0~3，产线射频校准与测试通常选择模式 1

<mode>：0: normal mode(非 MP mode); 1: MP test mode(本文需选此项); 2: rf normal test mode; 3: rf temp test mode

**wifi_set_mp_targetpwr <para1> <para2> <para3>**

设置功率校准的目标功率，十进制，具体说明如*表 3-1. CMD wifi_set_mp_targetpwr 各参数说明*

<para1>: 11B 11M 目标功率值

<para2>: 11AX MCS7 目标功率值

<para3>: 11G 54M 与 11AX MCS7 的目标功率差值

**表 3-1. CMD wifi_set_mp_targetpwr 各参数说明**

| <Para>参数 | para1 | para2 | para3 |
|---|---|---|---|
| 参数含义 | 11B 11M 目标功率 | 11AX MCS7 目标功率 | 11G 54M 与 11AX MCS7 目标功率差值 |
| **推荐值** | **17dBm** | **14dBm** | **1dB** |
| 最大值 | 20dBm | 15dBm | 2dB |
| 最小值 | 13dBm | 10dBm | 0dB |
| 步进 | 0.5dB | 0.5dB | 0.5dB |

**wifi_set_ch <channel>**

设置 WiFi 信道，十进制
<channel>: 信道值，取值范围 1~14

**wifi_tx_duty <percentage> <rate> [add_power]**

芯片开始非信令 Packet Tx：除非接收到 wifi_tx_stop 命令，否则将持续 Tx

<percentage>: 表示 tx 占空比(%)，目前仅支持 10%；

<rate>: Tx 速率值，十六进制，具体如*表 3-2. CMD wifi_tx_duty <rate>参数说明*

[add_power]: 设置功率调整值，十进制，取值范围-16 ~ 16dB，步进 0.25dB。在进行功率校准时，此值需不填或设为默认值 0

**表 3-2. CMD wifi_tx_duty <rate>参数说明**

| 11B 速率 | | 11G 速率 | | 11N 速率 | | 11AX SU 速率 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1M | 0x0 | 6M | 0x4 | MCS0 | 0x200 | MCS0 | 0x500 |
| 2M | 0x1 | 9M | 0x5 | MCS1 | 0x201 | MCS1 | 0x501 |
| 5.5M | 0x2 | 12M | 0x6 | MCS2 | 0x202 | MCS2 | 0x502 |
| 11M | 0x3 | 18M | 0x7 | MCS3 | 0x203 | MCS3 | 0x503 |
| | | 24M | 0x8 | MCS4 | 0x204 | MCS4 | 0x504 |
| | | 36M | 0x9 | MCS5 | 0x205 | MCS5 | 0x505 |
| | | 48M | 0xa | MCS6 | 0x206 | MCS6 | 0x506 |
| | | 54M | 0xb | MCS7 | 0x207 | MCS7 | 0x507 |
| | | | | | | MCS8 | 0x508 |
| | | | | | | MCS9 | 0x509 |

**rf_set_crystal_cap <tune>**

修改芯片外部晶体（默认 40MHz）所对应的芯片内部负载电容的容值，十六进制

<tune>: 调整芯片内部负载电容值，十六进制，取值范围 0x0 ~ 0x3F & 0x40 ~ 0x7F (0 ~ 63 & -64 ~ -1)，步进 1。此定义有效值仅 7bit，最后写 efuse 时需补齐 8bit，最高 bit 无意义，建议写为常数为 0

0x00 ~ 0x3F (0 ~ 63)，电容逐步加大，频偏逐步负偏

0x7F ~ 0x40 (-1 ~ -64)，电容逐步减小，频偏逐步正偏

**wifi_tx_stop**

停止 WiFi Tx

**wifi_set_mp_pcom <para1> <para2> <para3> <para4> <para5> <para6>**

将 WiFi 功率校准值暂存入芯片，十进制

<para1>：暂未启用，建议写<para4>相同值

<para2>：暂未启用，建议写<para5>相同值

<para3>：暂未启用，建议写<para6>相同值

<para4>：11AX MCS7 Channel1 power offset 补偿值

<para5>：11 AX MCS7 Channel7 power offset 补偿值

<para6>：11 AX MCS7 Channel13 power offset 补偿值

取值范围-4~4dB；步进 0.25dB

**wifi_reset_trxc**

清空 WiFi T/Rx 计数器

**wifi_phy_rxc**

查看芯片 WiFi Rx（收包）计数器的返回值

例如返回值打印：“FCS OK: 0x000003df, ERR: 0x00000021, RX END: 0x00000400”，只需关注其中 FCS OK（十六进制）即可，0x000003df 表示 Rx 成功收包 991 笔

**ble_test_tx <channel> <data length> <pkt payload> <phy> <tx power level>**

进行 BLE Tx；除非接收到 ble_test_stop 命令，否则将持续 Tx

<channel>：BLE Tx 的 channel，十六进制

<data length>：封包长度，十六进制，单位 Byte。Power calibration 时推荐使用 37Byte，即 0x25

<pkt payload>：payload 类型，十六进制，Power calibration 时推荐使用 PRBS9，即 0x0

<phy>：BLE Tx 速率，十六进制，Power calibration 时推荐使用 1M，即 0x1

<tx power level>：BLE Tx 目标功率，十六进制，Power calibration 时推荐使用 0dBm，即 0x0

各个参数具体定义如*表 3-3. CMD ble_test_tx 各参数说明*

**表 3-3. CMD ble_test_tx 各参数说明**

| 参数名称 | 值及含义 |
|---|---|
| channel | 0x0-0x27=ch0-39 |
| data length | 0x0-0xFF=0B-255B |
| pkt payload | 0x00/01/02/03/04/05/06/07=PRBS9/0xF0F0/0xAAAA /PRBS15/0xFFFF/0x0000/0x0F0F/0x5555 |
| phy | 0x01/02/03/04 = 1M/2M/Coded S=8/ Coded S=2 |
| tx power level | 0x7E/7F=min/max, 0x00=0dbm/ 0xFF=-1dbm... |

**ble_set_mp_pcom <offset value>**

将 BLE 功率校准值暂存入芯片，十进制

取值范围-4~4dB，步进 0.25 dB

**ble_test_rx <channel> <phy> <modulation idx>**

开始 BLE Rx 测试

参数均为十六进制，具体含义可参考*表 3-4. CMD ble_test_rx 各参数说明*

**表 3-4. CMD ble_test_rx 各参数说明**

| 参数名称 | 值及含义 |
|---|---|
| channel | 0x0-0x27=ch0-39 |
| phy | 0x01/02/03 = 1M/2M/Coded |
| modulation idx | 0x00/01=standard/ stable modulation index |

**ble_test_stop**

停止 BLE Tx 或 Rx 测试。若停止的是 BLE Rx，则再获取 BLE Rx 收包数，十六进制

**rf_efuse <operation> [item] [size] [value]**

对芯片 efuse 进行操作

<operation>: show/read/write/check_bytes/total_space/available_space

[item]: the type of item, 1，2，4，6，7，8

1: AX20 & BLE power offset;

2: power level control;

4: freq tuning;

6: WiFi MAC address low;

7: MAC address high;

8: BLE MAC address low.

[size]: the size to rf efuse item, 1 ~ 4

[value]: the hex value to set

# 4. Efuse 说明

Efuse 主要用于保存在 RF 校准前设置的一些必要的参数，以及当校准完成后所得到的校准值。芯片掉电 efuse 不会丢失，下次上电时 efuse 数据可使能。可用 CMD ***rf_efuse show*** 查看当前 efuse map。完整 map 如*表 4-1. Efuse Map*，每个 byte 的默认值均为 0x00。

**表 4-1. Efuse Map**

| Efuse Address | Byte0 | Byte1 | Byte2 | Byte3 |
|---|---|---|---|---|
| 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
| 0x10 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
| 0x20 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
| 0x30 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
| 0x40 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
| 0x50 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
| 0x60 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
| 0x70 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
| 0x80 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 |
| Defined by calibration | | | | |
| Defined by user, before calibration | | | | |
| Defined by user, before efuse writing | | | | |
| Not Defined | | | | |

*表 4-1. Efuse Map* 中，红色底纹的内容需要实际校准后方可确定；绿色底纹的内容由用户在校准前根据自身实际需求制定，影响校准结果；黄色底纹的内容由用户在写 efuse 前确定；灰色底纹的内容尚未定义。

*表 4-2. Efuse 定义*为 efuse 中每个 item 的说明及默认值含义。

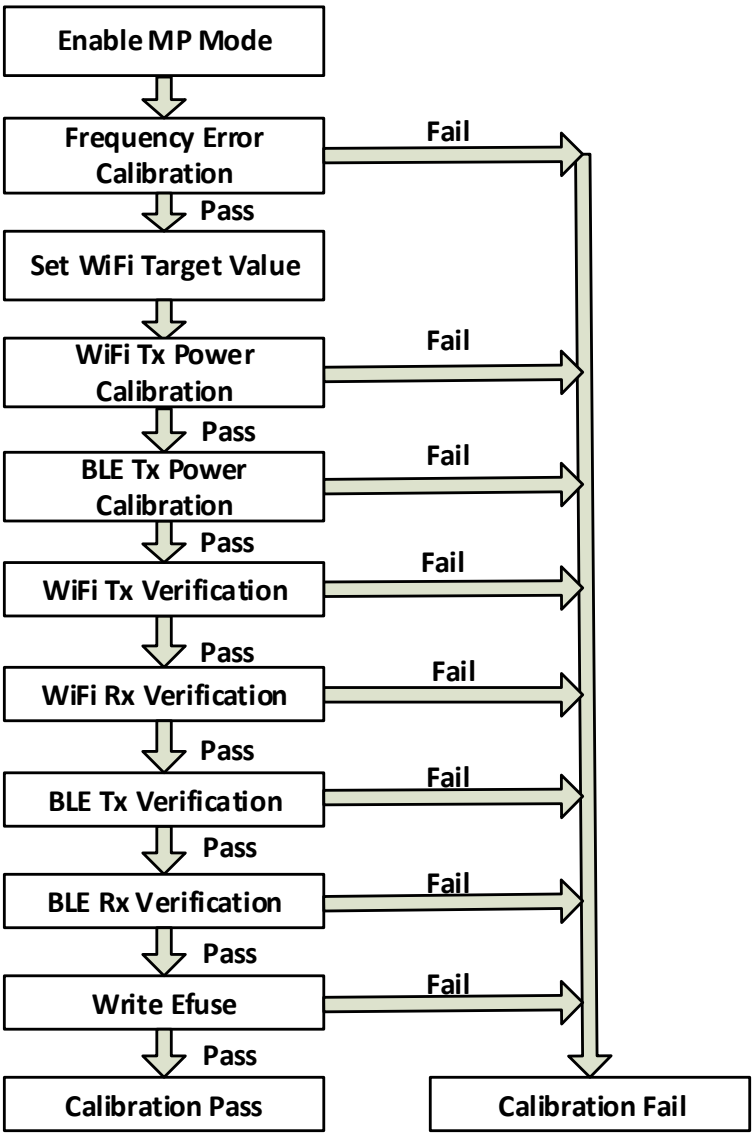
表 4-2. Efuse 定义

| Item Name | Efuse 位置 | 说明 | 默认值 | 默认值含义 | 何时确定 |
|---|---|---|---|---|---|
| 11AX Offset_ BasedOnTargetPower | 0x10~12 | 补偿 11AX SU MCS7 低中高三个 channel 的实测功率与目标功率的差值 | 0x00 | 0dB | 校准后 |
| BLE Offset_ BasedOnTargetPower | 0x13 | 补偿 BLE channel19(2440MHz)的实测功率与目标功率的差值 | 0x00 | 0dB | 校准后 |
| TargetPower_1 | 0x20[7:4] | 设定 11B 11M 目标功率值 | 0x00 | 17dBm | 校准前 |
| | 0x20[3:0] | 设定 11AX SU MCS7 目标功率值 | 0x00 | 14dBm | 校准前 |
| TargetPower_2 | 0x21[7:4] | 设定 11G 54M 与 11AX SU MCS7 的目标功率差值 | 0x00 | 1dB | 校准前 |
| TXPowerLimit_byMode | 0x22[7:4] | 限制功率分配表 11B 最大功率值 | 0x00 | 18dBm | 写 efuse 前 |
| | 0x22[3:0] | 限制功率分配表 11G/N/AX 最大功率值 | 0x00 | 18dBm | 写 efuse 前 |
| TargetPower_3 | 0x23[7:4] | 设定 BLE 目标功率值 | 0x00 | 0dBm | 校准前 |
| | 0x23[3:0] | 设定 BLE 最大功率值 | 0x00 | 8dBm | 写 efuse 前 |
| FreqTuning | 0x40 | 校准芯片内部用于调整晶体频偏的电容值 | 0x00 | 0 | 校准后 |
| MAC_Address | 0x60~62<br>0x70~72<br>0x80~82 | MAC 地址 | 0x00 | / | 写 efuse 前 |

# 5. 测试流程

GD32W553 RF Calibration 测试流程框图如*图 5-1. RF Calibration 流程*所示：

图 5-1. RF Calibration 流程




各步骤说明：

- Enable MP Mode: 进入 MP 模式
- Frequency Error Calibration：对芯片频偏进行校准，一般通过 WiFi Tx
- Set WiFi Target Value: 设置期望 WiFi 各速率通过校准所达到的目标功率值
- WiFi Tx Power Calibration：对芯片 WiFi Tx 功率进行校准，分三个 channel，共 3 个参数
- BLE Tx Power Calibration：对 BLE Tx 功率进行校准
- WiFi Tx Verification：当上述 WiFi Tx 频偏和功率校准过后，对 Tx 性能进行完整的验证
- WiFi Rx Verification：对 WiFi Rx PER 性能进行验证
- BLE Tx Verification：当上述 BLT Tx 功率校准过后，对 BLE Tx 性能进行完整的验证

- BLE Rx Verification：对 BLE Rx PER 性能进行验证
- Write Efuse：当上述都通过后，将校准值写入芯片 efuse

## 5.1. Enable MP Mode

DUT 正常启动后，需先进入 MP（Mass Production）模式，方可进行相关的校准测试，可用 CMD ***rf_mp_mode*** 实现。

- CMD 举例：
  - ***rf_mp_mode 1*** //进入 RF calibration 模式

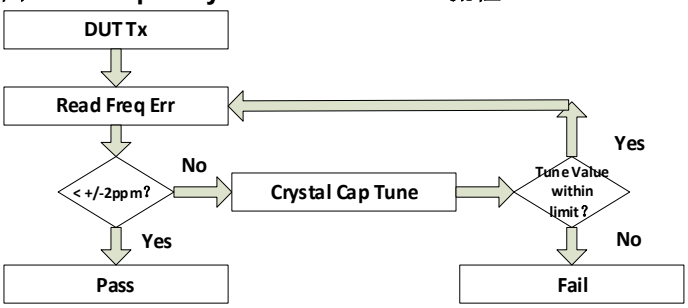
## 5.2. Frequency Error Calibration

产线校准时，需首先对 DUT Tx 的频偏进行校准。

### 5.2.1. 流程框图

Frequency Error Calibration 流程框图如*图 5-2. Frequency Error Calibration 流程*：

**图 5-2. Frequency Error Calibration 流程**




### 5.2.2. 具体流程

1. 基于 MCS7 Channel7，控制 DUT Tx，可用 CMD ***wifi_set_ch*** 和 ***wifi_tx_tudy***。

- CMD 举例：
  - ***wifi_set_ch 7*** //设置信道 7
  - ***wifi_tx_duty 10 0x507***
    //占空比 10%，速率 11AX MCS7，使用默认功率（对于尚未校准的芯片，只能使用默认功率），进行 Tx

2. 综测仪在相应信道作为 VSA，查看 DUT Tx 频偏。

3. 调整 DUT Tx 频偏，直至符合要求，可用 CMD ***rf_set_crystal_cap***。

- CMD 举例：
  - ***rf_set_crystal_cap 0x3*** //电容基于默认值加大 3 格
  - ***rf_set_crystal_cap 0x7C*** //电容基于默认值减小 4 格
- 若频偏为正偏 --> 调整增加 tune 值 –-> 电容值增加 -> 频偏向负方向移动直至接近目

标；反之亦然。

- tune 计算公式：

  tune = Freq_err_current / step， step ≈ 1.3KHz/格

- 结束目标：

  Freq_err_current ≤ +/-5KHz or 2ppm

4. 当满足目标后，DUT 停止 Tx，可用 CMD ***wifi_tx_stop***。

- CMD 举例：
  - ***wifi_tx_stop***

5. 记录最终 tune 值 (注：此值为 7bit 有效数据，bit7 建议为常数 0，负数由补码表示)，待最后 ***Write Efuse*** 存入 efuse 0x40，具体定义如***表 5-1. FreqTuning 具体定义***。

**表 5-1. FreqTuning 具体定义**

| Efuse 0x40 | | | Internal Capacity value |
|---|---|---|---|
| Bit[7:6] | Bit[5:0] | Hex | |
| 00 | 111111 | 0x3F | 电容值线性增加(频偏负方向移动) |
| … | | | |
| 00 | 000001 | 0x01 | |
| **00** | **000000** | **0x00** | 电容值位于中间 |
| 01 | 111111 | 0x7F | 电容值线性减小(频偏正方向移动) |
| … | | | |
| 01 | 000000 | 0x40 | |

- 表格中**加粗项**为默认值，下同

## 5.3. Set WiFi Target Value

在开始 RF Calibration 前，各个模式的目标功率（***Efuse 说明***中绿色底纹部分）需要提前确定，功率定义及取值范围如***表 5-2. 设置 WiFi 目标功率说明***。可用 CMD ***wifi_set_mp_targetpwr*** 将目标功率传入 DUT。待最后 ***Write Efuse*** 存入 efuse 0x20 & 0x21。

- CMD 举例：
  - ***wifi_set_mp_targetpwr 17 13.5 0.5***

  //设置目标功率为 11B 11M 17dBm；11AX SU MCS7 为 13.5dBm；11G 54M 为 13.5+0.5=14dBm。此处仅为举例，三个参数推荐分别设置为 17/14/1
- 目标功率可由用户自行设置，但需在取值范围之内

表 5-2. 设置 WiFi 目标功率说明

| Para NO. | Efuse 位置 | Item 说明 | Bit Value | Power Level |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0x20[7:4] | 11B 11M 目标功率值（dBm） | 0110 | 20 |
| | | | … | … |
| | | | 0010 | 18 |
| | | | 0001 | 17.5 |
| | | | **0000** | **17** |
| | | | 1111 | 16.5 |
| | | | 1110 | 16 |
| | | | … | … |
| | | | 1000 | 13 |
| 2 | 0x20[3:0] | 11AX SU MCS7 目标功率值（dBm） | 0010 | 15 |
| | | | 0001 | 14.5 |
| | | | **0000** | **14** |
| | | | 1111 | 13.5 |
| | | | 1110 | 13 |
| | | | … | … |
| | | | 1000 | 10 |
| 3 | 0x21[7:4] | 11G 54M 与 11AX SU MCS7 的目标功率差值（dB） | 0010 | 2 |
| | | | 0001 | 1.5 |
| | | | **0000** | **1** |
| | | | 1111 | 0.5 |
| | | | 1110 | 0 |

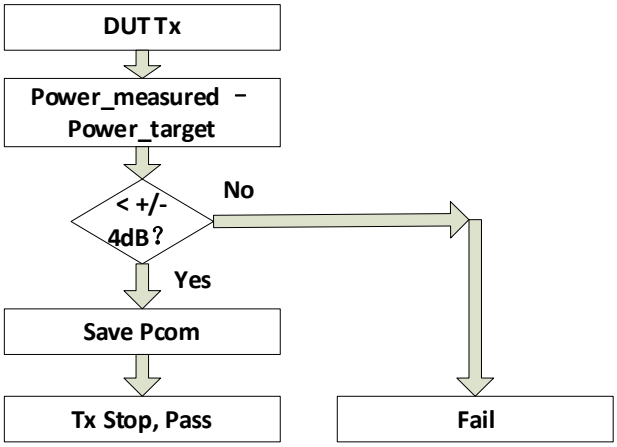
## 5.4. WiFi Tx Power Calibration

每块 PCB 板由于制板、打件、元器件本身的差异等因素，初始 WiFi Tx 功率会有一些差异，同时不同信道的功率也会有差异，因此为提高 PCB 的一致性，需要对 WiFi Tx 功率进行校准。

### 5.4.1. 流程框图

WiFi Tx Power Calibration 流程框图如*图 5-3. Tx Power Calibration 流程*所示：

图 5-3. Tx Power Calibration 流程




### 5.4.2. 具体流程

1. 以 ***Set WiFi Target Value*** 所设目标功率值为基础，DUT 设置特定 3 个 Channel 待校准，如下：

- 待校准 Channel = 1/7/13
- 待校准 Rate = 11AX MCS7
- 共 3 个待校准参数： 11AX MCS7 Channel1、11AX MCS7 Channel7、11AX MCS7 Channel13

2. DUT 在特定 Channel 进行 packet Tx，可用 CMD ***wifi_set_ch*** 和 ***wifi_tx_duty***。

- CMD 举例：
  - ***wifi_set_ch 7*** //设置信道 7
  - ***wifi_tx_duty 10 0x507***
    //设置为占空比 10%，速率 11AX MCS7，第三个参数[add power]必须为 0，表示使用默认功率。故此处不特别设置，表示使用默认值 0

3. 综测仪作为 VSA 在特定 Channel 和 Rate 接收，获得实际功率值，DUT 停止 Tx，可用 CMD ***wifi_tx_stop***。
4. 记录测量功率与 ***Set WiFi Target Value*** 目标功率的差值（Power Offset）。当此差值在 +/-4.125dB 之内时，根据*表 5-3. WiFi 校准功率差值与功率补偿值关系*得到相应的功率补偿值 Pcom；若超过+/-4dB 则直接 fail。

表 5-3. WiFi 校准功率差值与功率补偿值关系

| Power Offset | | Pcom | Efuse 0x00~02 & 0x10~12 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Lower Limit | Upper Limit | | Bit[7] | Bit[6:0] | Dec |
| -4.125 | -3.875 | 4 | 0 | 0100000 | 32 |
| -3.875 | -3.625 | 3.75 | 0 | 0011110 | 30 |
| | | | | … | |
| -0.875 | -0.625 | 0.75 | 0 | 0000110 | 6 |
| -0.625 | -0.375 | 0.5 | 0 | 0000100 | 4 |
| -0.375 | -0.125 | 0.25 | 0 | 0000010 | 2 |
| **-0.125** | **0.125** | **0** | **0** | **0000000** | **0** |
| 0.125 | 0.375 | -0.25 | 1 | 1111110 | -2 |
| 0.375 | 0.625 | -0.5 | 1 | 1111100 | -4 |
| -0.126 | 0.875 | -0.75 | 1 | 1111010 | -6 |
| | | | | … | |
| 3.625 | 3.875 | -3.75 | 1 | 1100010 | -30 |
| 3.875 | 4.125 | -4 | 1 | 1100000 | -32 |

5. 将 Pcom 暂时存入芯片供后续验证使用，可用 CMD ***wifi_set_mp_pcom***，待最后 ***Write Efuse*** 节存入 efuse 0x10~0x12

- Power Offset = Measured_Power – Target_Power
- Pcom 为实际补偿的功率值
- 补偿精度为 0.25dB
- 例如实际测量 11AX ch1 power 为 13.2dbm，所设目标功率为 14dbm，则偏差为 13.2 - 14 = -0.8dB，查表得此处补偿功率 Pcom = 0.75dB
- 3 个待校准参数具体对应关系与 efuse 位置可见***表 5-4. CMD wifi_set_mp_pcom 各参数说明***
- CMD 举例：
  - ***wifi_set_mp_pcom 0 -1.25 -1.75 0 -1.25 -1.75***
    //设置低/中/高信道 11AX_MCS7 功率补偿为 0, -1.25dB, -1.75dB（**仅后面 3 项有定义**）

表 5-4. CMD wifi_set_mp_pcom 各参数说明

| Pcom 参数 | Efuse 位置 | Channel | Rate |
|---|---|---|---|
| para1(**暂未启用，建议写 para4 相同值**) | / | / | / |
| para2(**暂未启用，建议写 para5 相同值**) | / | / | / |
| para3(**暂未启用，建议写 para6 相同值**) | / | / | / |
| para4 | 0x10 | 1 | 11AX MCS7 |
| para5 | 0x11 | 7 | 11AX MCS7 |
| para6 | 0x12 | 13 | 11AX MCS7 |

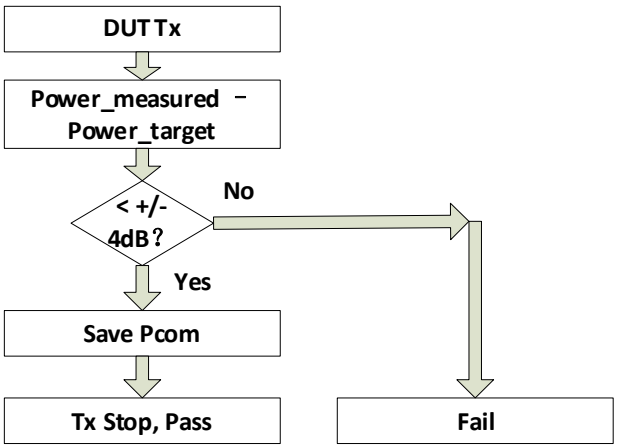
## 5.5. BLE Tx Power Calibration

类似 WiFi，BLE 也需要进行 Tx Power 校准。

### 5.5.1. 流程框图

BLE Tx Power Calibration 流程框图如*图 5-4. BLE Tx Power Calibration 流程*所示：

**图 5-4. BLE Tx Power Calibration 流程**




### 5.5.2. 具体流程

1. 首先需要确认 BLE 的 Target Power 和 Max Power，并将 Target Power 作为校准值以及后续 *BLE Tx Verification* 的验证功率值。遵循 efuse 定义，BLE 的 Target Power 默认值 0dBm，取值范围-24~15dBm，共 16 个可选值，如*表 5-5. BLE Target Power* 所示；BLE 的 Max Power 默认值 8dBm，取值范围-12~15dBm，共 7 个可选值，如*表 5-6. BLE Max Power* 所示：

**表 5-5. BLE Target Power**

| Efuse0x23 | power level(dBm) |
|---|---|
| Bit[7:4] | BLE Target Power |
| 0111 | 15 |
| 0110 | 12 |
| 0101 | 10 |
| … | … |
| 0010 | 4 |
| 0001 | 2 |
| **0000** | **0** |
| 1111 | -3 |
| 1110 | -6 |
| … | … |
| 1001 | -21 |

| | |
|---|---|
| 1000 | -24 |

表 5-6. BLE Max Power

| Efuse0x23 | power level(dBm) |
|---|---|
| Bit[3:0] | BLE Max Power Limit |
| 0010 | 15 |
| 0001 | 12 |
| **0000** | **8** |
| 1111 | 4 |
| 1110 | 0 |
| 1101 | -6 |
| 1100 | -12 |

2. 使用 CMD ***ble_test_tx*** 进行 BLE Tx 测试

- CMD 举例：
  - ***ble_test_tx 0x13 0x25 0x0 0x1 0x0***
    //Channel = 0x13（建议值）= 19 (2440MHz); Power calibration 时推荐使用中间的 channel19（2440MHz）
    //Data length = 37 Byte (建议值)
    //Payload = PRBS9 (建议值)
    //Rate = 1M (建议值)
    //Target Power = 0dBm（建议值）; range: -24~15dBm（遵循 efuse 定义）

3. 综测仪作为 VSA 在特定 Channel 接收，获得实际功率值，DUT 停止 Tx，可用 CMD ***ble_test_stop***

- CMD 举例：
  - ***ble_test_stop***

4. 记录测量功率与 CMD ***ble_test_tx*** 中<target power>的差值（Power Offset）。当此差值在+/-4.125dB 之内时，根据*表 5-7. BLE 校准功率差值与功率补偿值关系*得到相应的功率补偿值 Ble Pcom；若超过+/-4dB 则直接 fail

表 5-7. BLE 校准功率差值与功率补偿值关系

| BLE Power Offset | | BLE | Efuse 0x13 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Lower Limit | Upper Limit | Pcom | Bit[7] | bit[6:0] | Dec |
| -4.125 | -3.875 | 4 | 0 | 0100000 | 32 |
| -3.875 | -3.625 | 3.75 | 0 | 0011110 | 30 |
| | | | | … | |
| -0.875 | -0.625 | 0.75 | 0 | 0000110 | 6 |
| -0.625 | -0.375 | 0.5 | 0 | 0000100 | 4 |
| -0.375 | -0.125 | 0.25 | 0 | 0000010 | 2 |
| **-0.125** | **0.125** | **0** | **0** | **0000000** | **0** |
| 0.125 | 0.375 | -0.25 | 1 | 1111110 | -2 |
| 0.375 | 0.625 | -0.5 | 1 | 1111100 | -4 |
| -0.126 | 0.875 | -0.75 | 1 | 1111010 | -6 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | … | |
| 3.625 | 3.875 | -3.75 | 1 | 1100010 | -30 |
| 3.875 | 4.125 | -4 | 1 | 1100000 | -32 |

5. 将 Pcom 暂时存入芯片供后续验证使用，可用 CMD ***ble_set_mp_pcom,*** 待最后 ***Write Efuse*** 存入 efuse 0x23

- Power Offset = Measured_Power – Target_Power
- Pcom 为实际补偿的功率值
- 补偿精度为 0.25dB
- 例如实际测量 BLE Tx power 为 0.6dbm，所设目标功率为 0dbm，则偏差为 0.6 - 0 = 0.6dB，查表得此处补偿功率 Pcom = -0.5dB
- CMD 举例：
  - ***ble_set_mp_pcom -0.5***

  //设置 BLE 功率补偿为-0.5dB

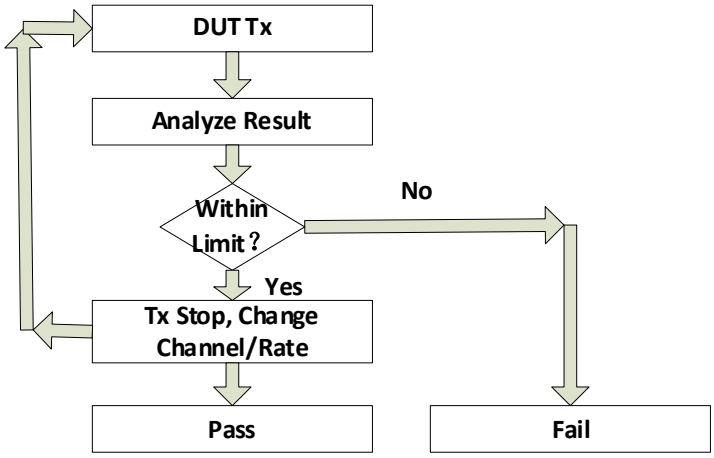
## 5.6. WiFi Tx Verification

当 WiFi Tx power 校准完之后，需要对校准后的 Tx 性能进行更全面的验证。

### 5.6.1. 流程框图

WiFi Tx Verification 流程框图如***图 5-5. WiFi Tx Verification 流程***所示：

**图 5-5. WiFi Tx Verification 流程**




### 5.6.2. 具体流程

1. DUT 设置特定 Channel 并 Tx，可用 CMD ***wifi_set_ch*** 和 ***wifi_tx_duty***。

- Channel 可由用户选则，1~14 均支持
- Rate 推荐每个 mode 的最高速率，即 11B 11M/ 11G 54M/ 11N MCS7/ 11AX MCS9，共 4 个速率
- 一般每个 Rate 测一个 Channel 即可。推荐的 Channel VS Rate 组合如***表 5-8. WiFi Tx Verification 推荐指标***

- 各个 Pass Criterion 用户亦可修改

2. 综测仪在相应 Channel 和 Rate 收包，并对所测结果进行分析判断。
3. DUT 停止 Tx，可用 CMD ***wifi_tx_stop***。

### 5.6.3. 测试项及测试指标

综测仪收到包后，推荐按*表 5-8. WiFi Tx Verification 推荐指标*进行判断。

**表 5-8. WiFi Tx Verification 推荐指标**

| Rate | Channel | Results from Tester | Pass Criterion |
|---|---|---|---|
| 11B 11M | 1 | Power | Target+/-2db |
| | | EVM | <10% |
| | | Freq error | <±20ppm |
| | | LO Leakage | <-20dbc |
| | | MASK | Passed |
| 11G 54M | 4 | Power | Target+/-2db |
| | | EVM | <-26db |
| | | Freq error | <±20ppm |
| | | LO Leakage | <-20dbc |
| | | MASK | Passed |
| 11N MCS7 | 13 | Power | Target+/-2db |
| | | EVM | <-28db |
| | | Freq error | <±20ppm |
| | | LO Leakage | <-20dbc |
| | | MASK | Passed |
| 11AX MCS9 | 9 | Power | Target+/-2db |
| | | EVM | <-33db |
| | | Freq error | <±20ppm |
| | | LO Leakage | <-20dbc |
| | | MASK | Passed |

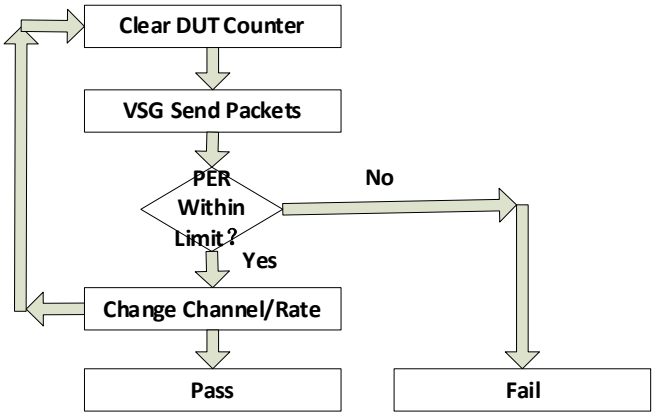
## 5.7. WiFi Rx Verification

WiFi Tx 验证完成后，还需对 DUT 的 WiFi Rx PER 性能进行验证。

### 5.7.1. 流程框图

WiFi Rx Verification 流程框图如*图 5-6. WiFi Rx Verification 流程*所示：

图 5-6. WiFi Rx Verification 流程




### 5.7.2. 具体流程

1. 需保证 DUT 所处环境为**屏蔽环境**，设置 Channel，并清空 Rx 计数器，可用 CMD ***wifi_set_ch*** 和 ***wifi_reset_trxc***。

- Channel 可由用户选则，1~14 均支持
- CMD 举例：
  - ***wifi_set_ch 3*** //设置信道 3
  - ***wifi_reset_trxc*** //清空计数器
- Rate 可由用户选择，推荐每个 mode 的最高 rate，即 11B 11M/ 11G 54M/ 11N MCS7/ 11AX MCS9
- 一般每个 rate 测一个 channel 即可。推荐的 Channel VS Rate 组合如*表 5-9. WiFi Rx Verification 推荐指标*所示

2. 综测仪在对应 Channel 和 Rate 作 VSG，按下表的输入功率（灵敏度点+6dB），发送固定数量封包，一般为 1000 笔，包长建议 1024byte。

3. 待综测仪发包完毕，查看计数器返回值，并计算 PER。

- CMD 举例：
  - ***wifi_phy_rxc***
    //查看 phy 计数器的返回值，例如返回值打印：“FCS OK: 0x000003df, ERR: 0x00000021, RX END: 0x00000400”，只需关注其中 FCS OK 即可。0x000003df 表示 RX OK=991 笔。PER = 1 – 991/1000 = 0.9%，Pass

### 5.7.3. 测试项及测试指标

Rx Verification 时，综测仪推荐功率设置及指标如*表 5-9. WiFi Rx Verification 推荐指标*所示：

表 5-9. WiFi Rx Verification 推荐指标

| Rate | Channel | Input Power | PER Criterion |
|---|---|---|---|
| 11B 11M | 13 | Psen + 6db | ≤8% |
| 11G 54M | 10 | Psen + 6db | ≤10% |
| 11N MCS7 | 1 | Psen + 6db | ≤10% |
| 11AX MCS9 | 5 | Psen + 6db | ≤10% |

- PER = (发包数 - MAC OK 数) / 发包数 * 100%

- Psen 为 DUT 在实验室的实测灵敏度功率值

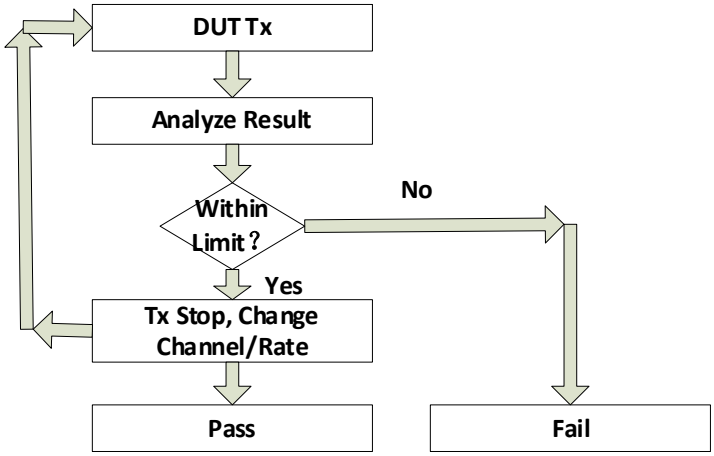
## 5.8. BLE Tx Verification

当 BLE Tx power 校准完之后，需要对校准后的 Tx 性能进行更全面的验证。

### 5.8.1. 流程框图

Tx Verification 流程框图如*图 5-7. BLE Tx Verification 流程*所示：

**图 5-7. BLE Tx Verification 流程**




### 5.8.2. 具体流程

1. DUT 设置参数并 Tx，可用 CMD ***ble_test_tx***，建议用 Target Power 进行测试
2. 综测仪在相应 Channel 和 Rate 收包，并对所测结果进行分析判断
3. DUT 停止 Tx，可用 CMD ***ble_test_stop***

### 5.8.3. 测试项及测试指标

BLE Tx Verification 推荐的测试项及其指标，可参考*表 5-10. BLE Tx Verification 推荐指标*

**表 5-10. BLE Tx Verification 推荐指标**

| Rate | Channel | Length | Payload | Results from Tester | Pass Criterion |
|---|---|---|---|---|---|
| 1M | 0 | 37B | 0xF0&0xAA | Power | Target Power+/-2db |
| | | | | Modulation Characteristics | Follow spec |
| | | | | Initial Carrier Frequency Tolerance | Follow spec |
| | | | | Carrier Frequency Drift | Follow spec |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2M | 39 | 37B | 0xF0&0xAA | Power | Target Power+/- 2db |
| | | | | Modulation Characteristics | Follow spec |
| | | | | Initial Carrier Frequency Tolerance | Follow spec |
| | | | | Carrier Frequency Drift | Follow spec |

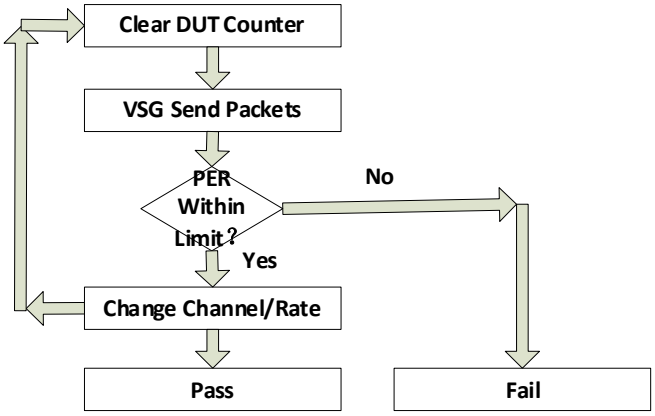
## 5.9. BLE Rx Verification

与 WiFi 类似，BLE 也需要进行 RX PER 的验证。

### 5.9.1. 流程框图

BLE Rx Verification 流程框图如*图 5-8. BLE Rx Verification 流程*所示：

**图 5-8. BLE Rx Verification 流程**




### 5.9.2. 具体流程

1. 需保证 DUT 所处环境为**屏蔽环境**，测试可用 CMD ***ble_test_rx***

- CMD 举例：
  - ***ble_test_rx 0x0 0x1 0x0*** //设置信道 0，速率=1M，payload=PRBS9

2. 综测仪在对应 Channel 和 Rate 作 VSG，按下表的输入功率（灵敏度点+6dB），发送固定数量封包，一般为 1500 笔，包长建议 37Byte，payload 建议 PRBS9

3. 待综测仪发包完毕，使用 CMD ***ble_test_stop*** 停止 Tx，并查看计数器返回值，再计算 PER

- CMD 举例：
  - ***ble_test_stop***
    //停止 BLE test，并查看计数器的返回值，例如返回值打印：“le test end, status 0x0, received pkt num: 1316”，PER =(1500 - 1316)/1500 = 12.3%. PASS

### 5.9.3. 测试项及测试指标

BLE Rx Verification 时，综测仪推荐功率设置及指标如*表 5-11. BLE Rx Verification 推荐指标*所示：

**表 5-11. BLE Rx Verification 推荐指标**

| Rate | Channel | Length | Payload | Input Power | PER Criterion |
|---|---|---|---|---|---|
| 1M | 0 | 37B | PRBS9 | Psen + 6db | ≤30.8% |
| 2M | 39 | 37B | PRBS9 | Psen + 6db | ≤30.8% |

- PER = (发包数 - MAC OK 数) / 发包数 * 100%
- Psen 为 DUT 在实验室的实测灵敏度功率值

## 5.10. Write Efuse

待上述流程均 Pass 后，需将温度值、功率校准值及其他设定值写入 DUT 的 efuse，待下次上电启动时，自动导入到芯片内部。读写 efuse 可用 CMD ***rf_efuse***。

### 5.10.1. 确定所写内容

本文 *Efuse 说明*有介绍过，红色和绿色底纹部分在 WiFi / BLE 校准前就已确定，黄色底纹部分需在写 efuse 前确认。其中 0x22 TXPowerLimit_byMode 具体定义可参考*表 5-12. TXPowerLimit_byMode 具体定义*。

**表 5-12. TXPowerLimit_byMode 具体定义**

| Efuse 0x22 | WiFi MAX Power Level(dBm) |
|---|---|
| **Bit[7:4]** | **11B** |
| 0110 | 21 |
| … | … |
| 0010 | 19 |
| 0001 | 18.5 |
| **0000** | **18** |
| 1111 | 17.5 |
| 1110 | 17 |
| … | … |
| 1000 | 14 |
| **Bit[3:0]** | **11G, 11N & 11AX** |
| 0010 | 19 |
| 0001 | 18.5 |
| **0000** | **18** |
| 1111 | 17.5 |
| 1110 | 17 |
| … | … |
| 1000 | 14 |

WiFi 和 BLE 的 MAC 地址在 efuse 0x60~62、0x70~72、0x80~82，具体定义如*表 5-13. MAC*

*地址具体定义*，具体内容由用户定义。

**表 5-13. MAC 地址具体定义**

| Efuse 位置 | 说明 | 默认值 | 具体含义 |
|---|---|---|---|
| 0x60 | MAC_Address_Byte3 | 0x00 | WIFI MAC address bit[23:16] |
| 0x61 | MAC_Address_Byte2 | 0x00 | WIFI MAC address bit[15:8] |
| 0x62 | MAC_Address_Byte1 | 0x00 | WIFI MAC address bit[7:0] |
| 0x70 | MAC_Address_Byte6 | 0x00 | WIFI/BLE MAC address bit[47:40] |
| 0x71 | MAC_Address_Byte5 | 0x00 | WIFI/BLE MAC address bit[39:32] |
| 0x72 | MAC_Address_Byte4 | 0x00 | WIFI/BLE MAC address bit[31:24] |
| 0x80 | MAC_Address_Byte9 | 0x00 | BLE MAC address bit[23:16] |
| 0x81 | MAC_Address_Byte8 | 0x00 | BLE MAC address bit[15:8] |
| 0x82 | MAC_Address_Byte7 | 0x00 | BLE MAC address bit[7:0] |

### 5.10.2. 完整写 efuse 举例

完整的写 efuse CMD 举例：

- ***rf_efuse write 1 4 FEFCFA02***

//设置 WiFi 11AX MCS7 低/中/高信道的功率补偿为-0.25dB, -0.5dB, -0.75dB; 设置 BLE 功率补偿为 0.25dB

- ***rf_efuse write 2 4 0DF00E21***

//0x0D：设置 11B 11M 目标功率为 17dBm，设置 11AX MCS7 目标功率为 12.5dBm
//0XF0: 设置 11G 54M 目标功率为 12.5 + 0.5 = 13dBm
//0x0E: 设置最大功率限制为 11B 18dBm, 11G、11N&11AX 17dBm
//0x21: 设置 BLE 目标功率为 4dBm，最大可用功率为 12dBm

**//NOTE**: 这里所设目标功率一定要和 ***Set WiFi Target Value*** 和 ***BLE Tx Power CalibrationCMD*** 所设值一致（此处仅用于举例，与前文目标功率可能并不一致），否则会导致功率校准偏差

- ***rf_efuse write 4 1 7A***

//设置频率校准为-6 格。仅低 7bit 有意义，最高 bit 建议写常数 0

- ***rf_efuse write 6 3 000102***
- ***rf_efuse write 7 3 76baed***
- ***rf_efuse write 8 3 030405***

//设置 WiFi MAC 地址为 0x76baed000102，BLE MAC 为 0x76baed030405

### 5.10.3. Efuse 可用空间说明

针对全空的 efuse，共有空间 64bytes，且每一 byte 的默认值均为 0x00。若对 efuse 某一位置所写值与当前值相同，其实并不真实消耗 efuse 空间。若完整地写一遍 efuse（所有值均为非 0x00 值）需要 24bytes，故每颗芯片可完整校准两次有余。

# 6. 版本历史

表 6-1. 版本历史

| 版本号. | 说明 | 日期 |
| --- | --- | --- |
| 1.0 | 首次发布 | 2023 年 10 月 13 日 |
| 1.1 | 根据 efuse 定义改动，修改相应使用方法 | 2024 年 7 月 19 日 |
| 1.2 | 修改 Important Notice 页 | 2025 年 3 月 28 日 |

# Important Notice

This document is the property of GigaDevice Semiconductor Inc. and its subsidiaries (the "Company"). This document, including any product of the Company described in this document (the “Product”), is owned by the Company according to the laws of the People’s Republic of China and other applicable laws. The Company reserves all rights under such laws and no Intellectual Property Rights are transferred (either wholly or partially) or licensed by the Company (either expressly or impliedly) herein. The names and brands of third party referred thereto (if any) are the property of their respective owner and referred to for identification purposes only.

To the maximum extent permitted by applicable law, the Company makes no representations or warranties of any kind, express or implied, with regard to the merchantability and the fitness for a particular purpose of the Product, nor does the Company assume any liability arising out of the application or use of any Product. Any information provided in this document is provided only for reference purposes. It is the sole responsibility of the user of this document to determine whether the Product is suitable and fit for its applications and products planned, and properly design, program, and test the functionality and safety of its applications and products planned using the Product. The Product is designed, developed, and/or manufactured for ordinary business, industrial, personal, and/or household applications only, and the Product is not designed or intended for use in (i) safety critical applications such as weapons systems, nuclear facilities, atomic energy controller, combustion controller, aeronautic or aerospace applications, traffic signal instruments, pollution control or hazardous substance management; (ii) life-support systems, other medical equipment or systems (including life support equipment and surgical implants); (iii) automotive applications or environments, including but not limited to applications for active and passive safety of automobiles (regardless of front market or aftermarket), for example, EPS, braking, ADAS (camera/fusion), EMS, TCU, BMS, BSG, TPMS, Airbag, Suspension, DMS, ICMS, Domain, ESC, DCDC, e-clutch, advanced-lighting, etc.. Automobile herein means a vehicle propelled by a self-contained motor, engine or the like, such as, without limitation, cars, trucks, motorcycles, electric cars, and other transportation devices; and/or (iv) other uses where the failure of the device or the Product can reasonably be expected to result in personal injury, death, or severe property or environmental damage (collectively "Unintended Uses"). Customers shall take any and all actions to ensure the Product meets the applicable laws and regulations. The Company is not liable for, in whole or in part, and customers shall hereby release the Company as well as its suppliers and/or distributors from, any claim, damage, or other liability arising from or related to all Unintended Uses of the Product. Customers shall indemnify and hold the Company, and its officers, employees, subsidiaries, affiliates as well as its suppliers and/or distributors harmless from and against all claims, costs, damages, and other liabilities, including claims for personal injury or death, arising from or related to any Unintended Uses of the Product.

Information in this document is provided solely in connection with the Product. The Company reserves the right to make changes, corrections, modifications or improvements to this document and the Product described herein at any time without notice. The Company shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. Information in this document supersedes and replaces information previously supplied in any prior versions of this document.