

PDA1008 2207003/2207004 测试报告

试验时间：2022 年 9 月 21 日

试验地点：中科院半导体研究所

试验人员：徐团伟、邓棣珉

一、试验目的

测试并分析定制 PDA1008 系光电探测器(SN:2207003, SN:2207004)的相关属性：

- 输出噪声水平；
- 功率响应曲线与灵敏度系数；
- 频谱与带宽；

二、试验器材

可调谐激光器 TSL（型号：HP8164A）；RIO 激光器；隔离器 ISO；可调衰减器 VOA；声光调制器 AOM T21G3753；信号发生器；待测光电探测器 PD（PDA1008，SN2207003/SN2207004，带宽 80MHz）；信测 OTDR；示波器 OSC（型号：MD04104B-3）；光纤放大器 EDFA

三、试验原理与内容

3.1 功率响应曲线与灵敏度系数

3.1.1 测试原理

待测探测器为交流耦合，直流成分被抑制，无法通过 输入光功率 与 探测器输出电压的直流偏置 进行一一对应。使用声光调制器 AOM 对探测器的输入光进行脉冲调制，可通过探测器 输出脉冲信号的峰峰值 与 输入脉冲光的峰值光功率 进行一一对应。对占空比为 50%、峰值功率为-20.38dBm 的输入光脉冲进行测试，不同重复频率的得到的输出信号如下：

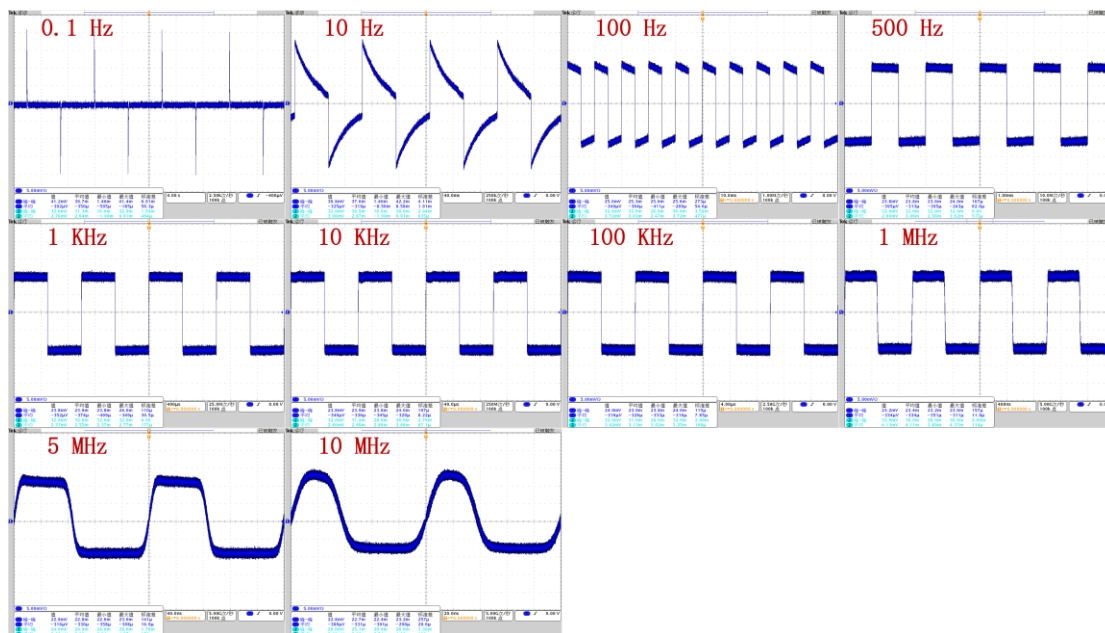


图 3.1 不同重复频率的脉冲光(峰值功率-20.38dBm)输入待测探测器获得的输出信号

由上图可得，在重复频率大于等于 10KHz 时，脉冲信号恢复情况良好。为减小脉冲信号和探测器脉冲响应的上升/下降沿影响，重复频率不应该过大，因此选择 10KHz 作为测试时的重复频率。

3.1.2 测试光路

由于可调谐激光器输出光功率范围为-23~-4dBm，无法通过单一的光路设置获得预期的输入光功率范围实验。

- 当输入光功率对小于等于 -11dBm 时，采用下面的测试光路 1：

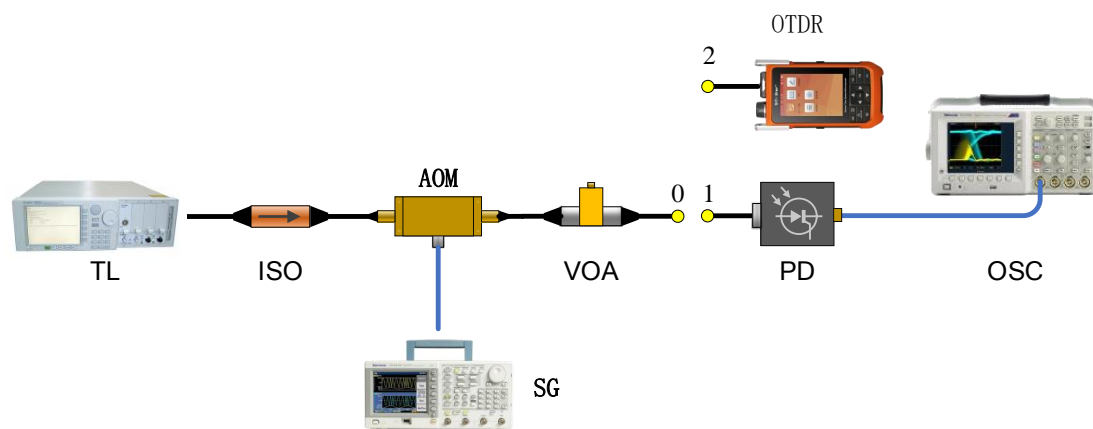


图 3.2 测试光路 1

- 当输入光功率大于-11dBm 时，采用下面的测试光路 2：

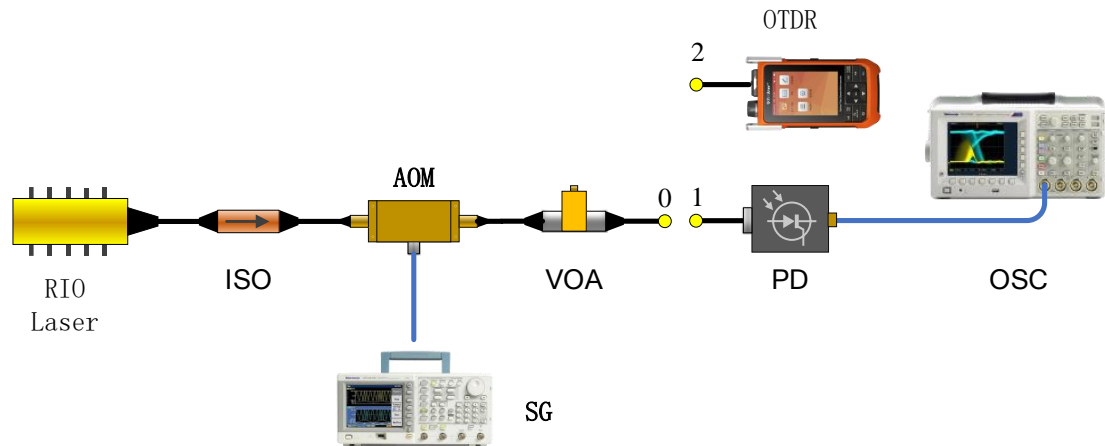


图 三.3 测试光路 2

3.1.3 测试步骤

1. 按照图 三.2 搭建测试光路，对小于-11dBm 输入光功率的功率响应进行测试。打开可调谐激光器 HP8164A，待其完全开启，设置第一个测试光功率为-4 dBm。
2. *为声光调制器 AOM 施加 12V 供电，并通过信号发生器 SG 生成脉冲调制信号：高值 560mV，低值 0V，频率为 10KHz，占空比 99%，上升/下降沿 2.5ns，输出 50 Ω 。测量线路 0-2 连接，使用 OTDR 的 OPM 功能获得输入的光功率大小，即为待测探测器的输入峰值光功率 P，记录此光功率值。
3. *更改 AOM 调制信号的占空比为 50%，其他设置不变。测量线路 0-1 连接，并为探测器 PD 施加 5V 供电，使用示波器测量探测器的响应输出脉冲信号。示波器设置为直流耦合、50 Ω 输入阻抗，将设置记录长度为 20M。采集模式设为平均，平均点数设为 512。调节 Scale 旋钮将采样率设置为 5.00G 次/秒、40.0 μs /div。记录此时示波器上显示脉冲信号的峰峰值 V_{p-p} 。
4. 以-1dB 步进长度调节激光器 HP8164A 的输出光功率，其间重复步骤 2、3，获得不同输入脉冲峰值光功率 P 对应的输出脉冲信号峰峰值 V_{p-p} 。当

达到激光器调节极限后，通过调节衰减器 VOA 衰减大小的方式，保持以 -1dB 步进调节脉冲光的峰值光功率 P。直到边沿触发失效，无法获得稳定波形。

5. 按图 三.3 搭建测试光路 2，对大于等于 -11dBm 输入光功率的功率响应进行测试。为 RIO 激光器施加 5V 供电，待其稳定。
6. 测量线路 0-2 连接，声光调制器 AOM 调制信号的设置与步骤 2 相同，使用 OTDR 测量 0 端口的光功率大小 P'。通过调节衰减器 VOA 旋钮，使得此时输出光功率 P' 与 步骤 2 测量得到第一个光功率峰值 P 相同。通过调节 VOA 旋钮，减小衰减，使得 0 端口测得的光功率 P' 以 1dB 逐次增大。其间重复步骤 2、3 的测量，获得不同输入脉冲峰值光功率对应的输出脉冲信号峰峰值。直达到饱和输入光功率。

3.2 输出噪声水平

- **示波器本底噪声：**确保示波器正常运行，去除连接示波器的探头。将示波器耦合方式设置为“直流耦合”，采集模式设置为“取样”、通道衰减比设置为“1X”。将示波器的垂直档位设置为“1mV/div”，移动触发电平至零平线。将示波器的采样速率调节为 5G 次/秒，存储深度调节为 20M 点。测量此时通道 1 与通道 2 输出噪声的峰峰值和平均，依此来评估示波器通道 1 和通道 2 的本底噪声。
- **探测器输出噪声：**维持上一步的示波器设置，将序列号 SN2207003 的待测探测器输入端通过射频线接入示波器通道 1，SN2207004 接入通道 2。为待测探测器提供 5V 直流供电，测量此时通道 1 与通道 2 输出噪声的峰峰值和平均，依此来评估待测探测器的噪声水平与偏置电压。

3.3 频谱与带宽

3.3.1 频谱测量原理

待测探测器的输出噪声与示波器底噪(峰峰值 1.04mV)在同一数量级，直接测量待测探测器输出噪声频谱受底噪影响严重。

光放大器 EDFA 的 ASE 噪声具有较宽的频带，可以利用 ASE 噪声增大待测探测器有效频段内的输出噪声水平，以此来减小示波器底噪的影响。测试光路如下：

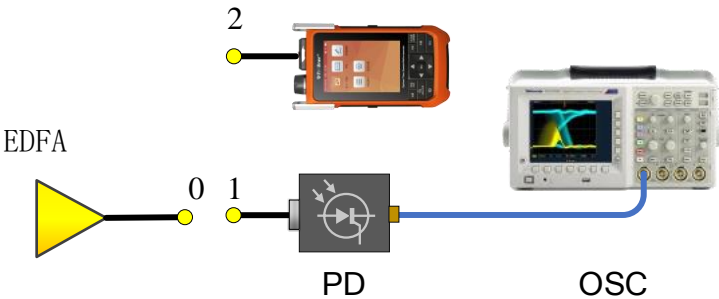


图 三.4 测试光路 3

EDFA 保持无光输入的状态，通过控制其泵浦电流的大小来改变 ASE 噪声的强弱，0-2 连接，通过 OTDR 的光功率计功能测量 ASE 噪声强度的平均光功率；0-1 连接，将无泵浦光 EDFA 的产生的 ASE 噪声输入到待测探测器中，测量此时噪声电压的峰峰值。

表 三-1 不同泵浦电流下 EDFA 的平均 ASE 噪声光功率 与 探测器(SN2207003) 输出噪声电压峰峰值

EDFA 泵浦电流/mA	ASE 噪声平均光功率		噪声电压峰峰值/mV
	dBm	μ W	
0	无法检测		2.62
57	-33.68	0.429	2.72
59.5	-28.24	1.500	2.92
62	-23.54	4.426	4.88
64.5	-19.76	10.568	11.10
67	-16.43	22.751	23.80
69.5	-13.83	41.400	42.80
72	-11.66	68.234	71.60

由上表可知,当泵浦电流大小在 57~62mA 时,其待测探测器的噪声电压水平与示波器底噪(峰峰值 1.04mV)仍在同一数量级,此时探测器的频谱测量受示波器底噪影响较为明显。并且当泵浦电流为 64.5~72mA 时,ASE 噪声平均光功率大小仍在待测探测器的线性响应区内。

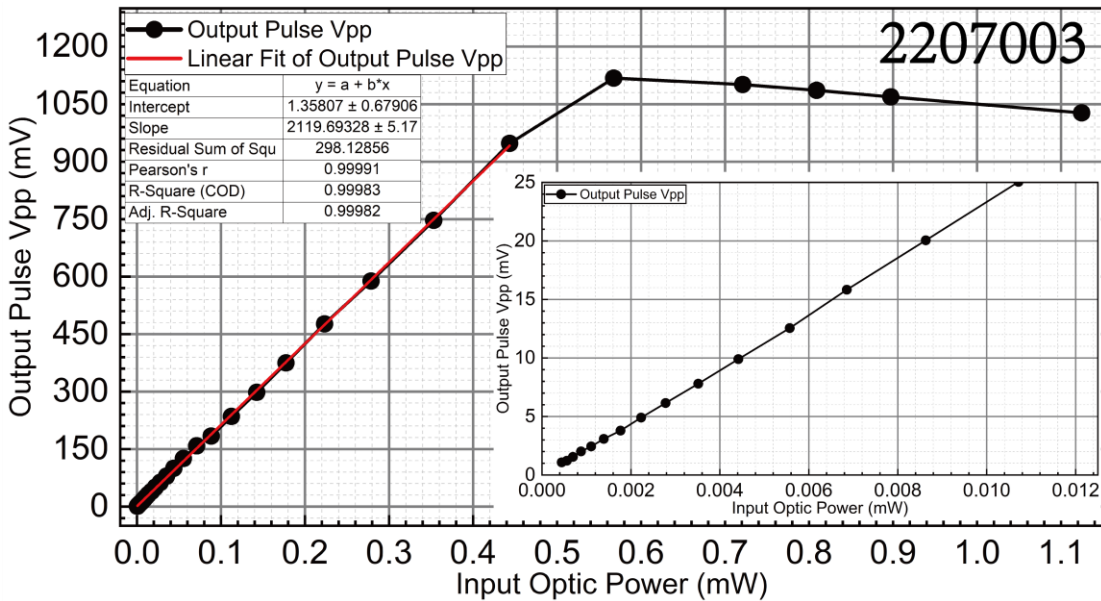
3.3.2 测量步骤

1. 为 EDFA 施加 12V 直流供电,保持光输入端口空置,即 EDFA 无光输入;
2. 使用串口调试软件将 EDFA 的泵浦电流调节到 69.5mA。将 EDFA 的光输出接入待测探测器,并为待测探测器施加 5V 直流供电;
3. 将探测器的输出接入到示波器 RF 端口,使用示波器频谱功能;
4. 将频谱的起始频率设置为 0Hz,终止频率设置为 300MHz。*跨度: RBW* 设置为 1000:1;
5. 调节参考电平,找到波形,并将垂直幅度设为 2.00dB/格;
6. 频谱光踪迹开启平均模式,调节平均点数至 512,关闭正常模式;
7. 记录此时的频谱波形。

四、试验结果

4.1 功率响应曲线与灵敏度系数

待测探测器的测量结果如下图所示:



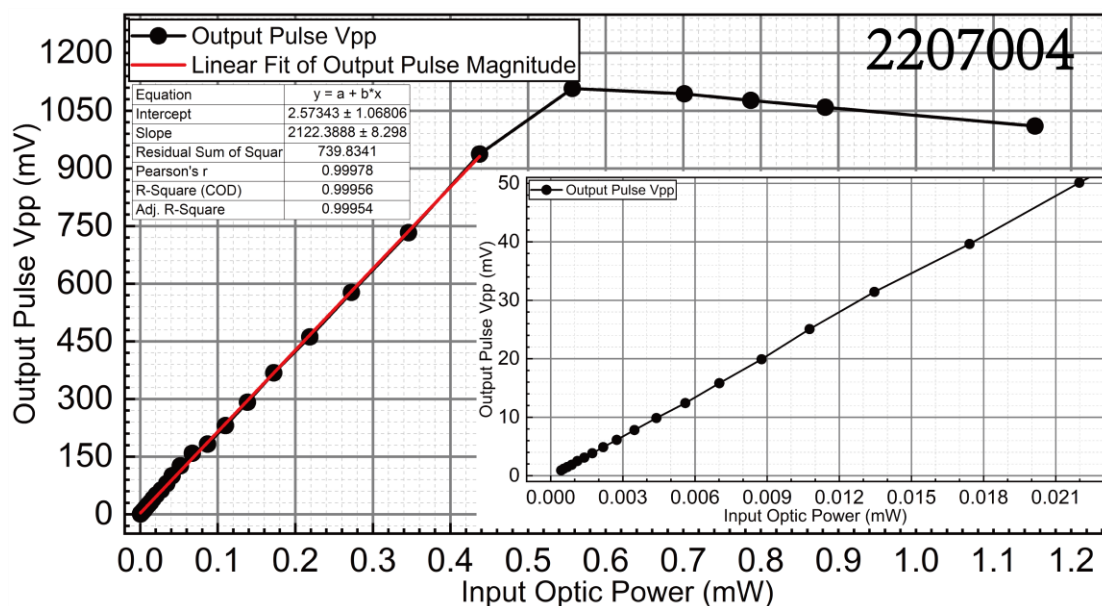


图 四.1 光功率输入-探测器电平输出曲线及插图，SN2207003（上），
SN2207004（下）

- **SN2207003:** 输入峰值光功率范围为 $0.343 \mu\text{W}$ (-34.65dBm) 到 1.125mW (0.51dBm)。饱和输入峰值光功率为 0.568mW ，此时饱和输出电压的峰峰值为 1.118V 。

用于线性拟合的输入峰值光功率范围为 $0.343 \mu\text{W}$ (-34.65dBm) 到 0.444mW (-3.53dBm)。根据拟合曲线结果，可知该光电探测器灵敏度为 2.20 kV/W 。

- **SN2207004:** 输入峰值光功率范围为 $0.350 \mu\text{W}$ (-34.56dBm) 到 1.153mW (0.62dBm)。饱和输入峰值光功率为 0.557mW ，此时饱和输出电压的峰峰值为 1.108V 。

用于线性拟合的输入峰值光功率范围为 $0.350 \mu\text{W}$ (-34.56dBm) 到 0.438mW (-3.59dBm)。根据拟合曲线结果，可知该光电探测器灵敏度为 2.12 kV/W 。

4.2 输出噪声水平

示波器本底噪声：测得示波器本底噪声结果如下图所示：

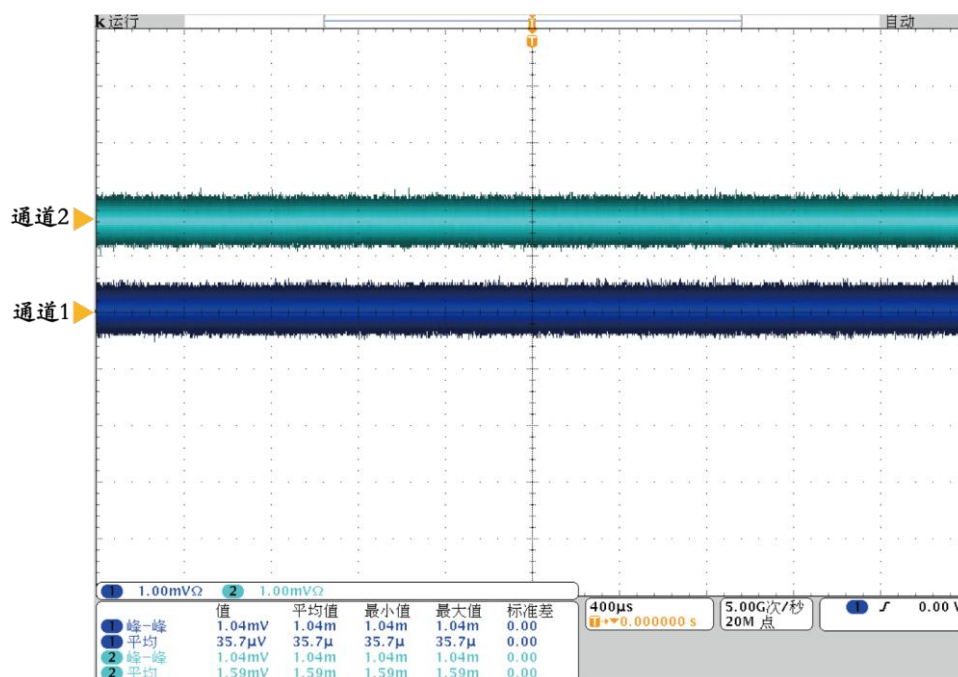


图 四.2 示波器本底噪声

探测器输出噪声：测得探测器的输出结果如下图所示。

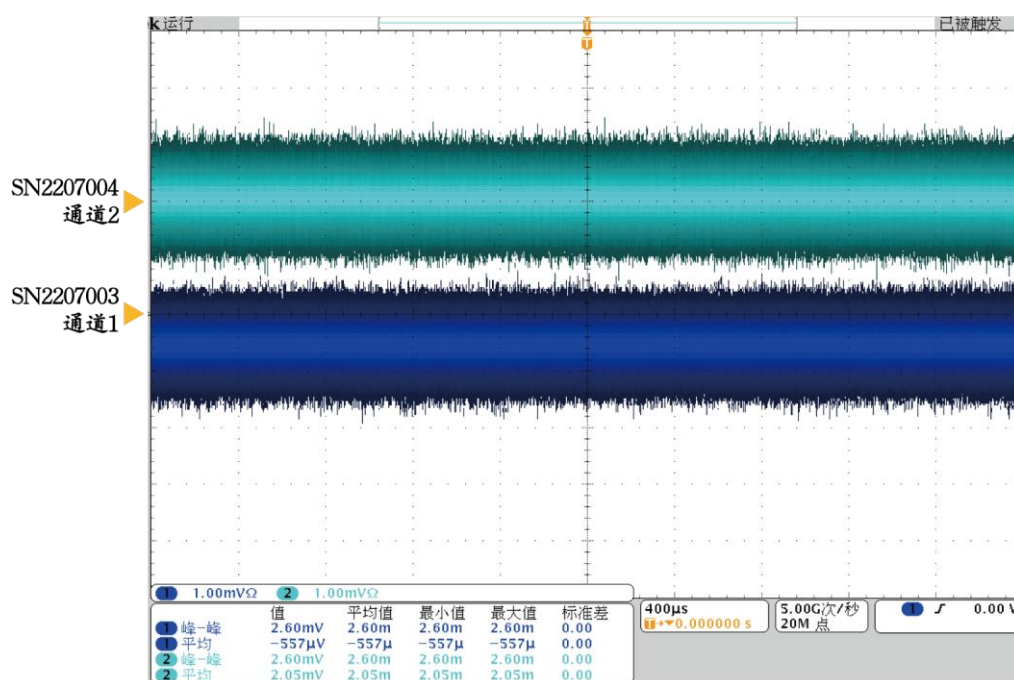


图 四.3 探测器 SN2207003 输出噪声(通道 1)和 SN2207004 输出噪声(通道 2)

根据 图 四.2 示波器本底噪声 和 图 四.3 ，可得到下表：

表 四-1 探测器输出噪声测量结果

待测 PD	测量参数	仅示波器	示波器+待测 PD	结果校正
SN2207003	平均/ μV	35.7	-557	$-557 - 35.7 = -592.7$
	峰-峰/mV	1.04	2.60	$\sqrt{\{2.60^2 - 1.04^2\}} = 2.38$
SN2207004	平均/ μV	1590	2050	$2050 - 1590 = 460$
	峰-峰/mV	1.04	2.60	$\sqrt{\{2.60^2 - 1.04^2\}} = 2.38$

从上表可得，在采样率为 5GS/s 时，两个光电探测器的输出噪声情况如下：

1. 光电探测器 SN2207003 偏置电压为 $-592.7\ \mu\text{V}$ ，噪声水平为 2.38mV。
2. 光电探测器 SN2207004 偏置电压为 $460\ \mu\text{V}$ ，噪声水平为 2.38mV。

4.3 频谱与带宽

测得的频谱结果如下：

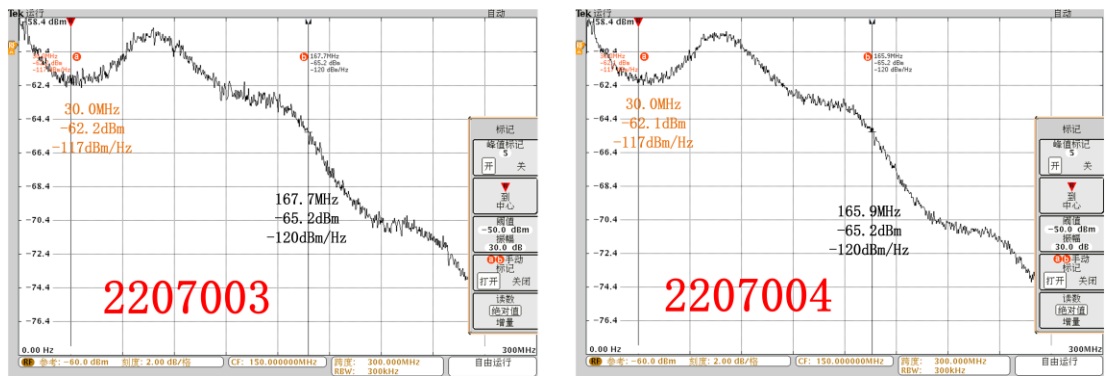


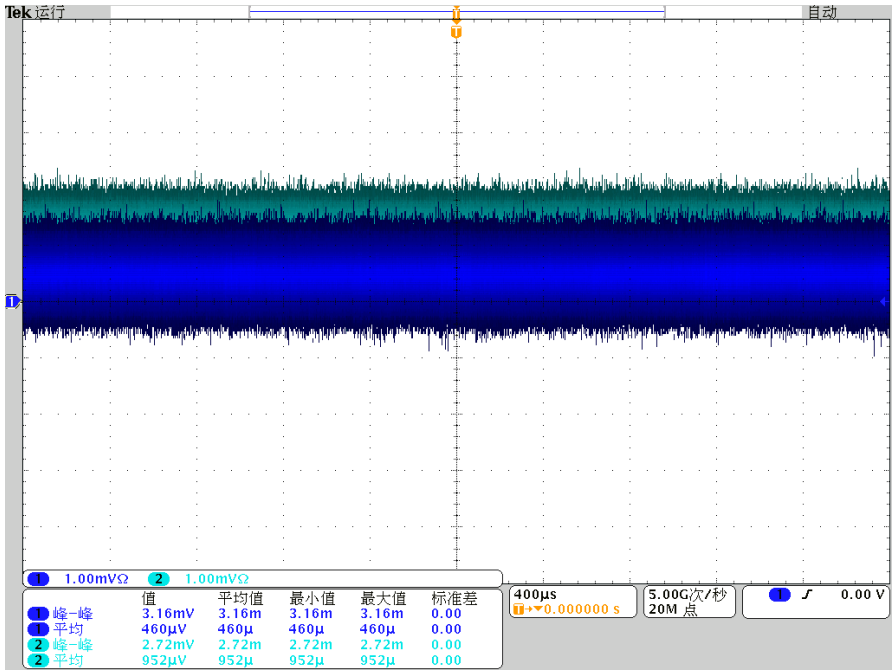
图 四.4 待测探测器输出噪声的频谱测量结果

- 在 0~30MHz 具有较强的干扰,无法具此频谱图判断有效频段的起始频率;
- 以 30MHz 作为起始参考点,测量频谱的 3dB 带宽;
- 探测器 2207003 的 3dB 带宽为 167.7MHz,探测器 2207004 的 3dB 带宽为 165.9MHz。

附录:

- 实验中准备用到两款声光调制器:T21G3752 和 T21G3753,其中 T21G3752 的插入损耗异常,达到 15dB。最后选用 T21G3753。

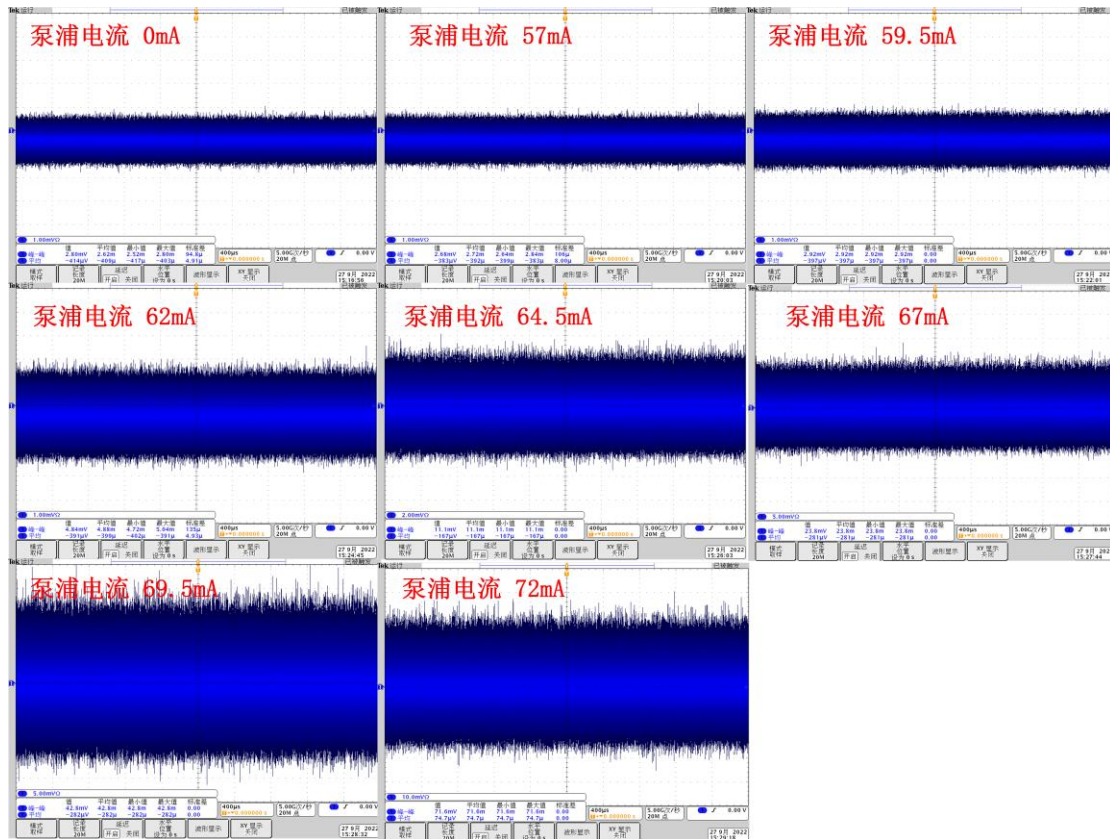
- 前文中在测试探测器输出噪声水平时，将 SN2207003 的待测探测器输出接入示波器通道 1，SN2207004 接入通道 2。下面展示将探测器的接入端口交换，即 SN2207003 接入通道 2，SN2207004 接入通道 1 的结果。



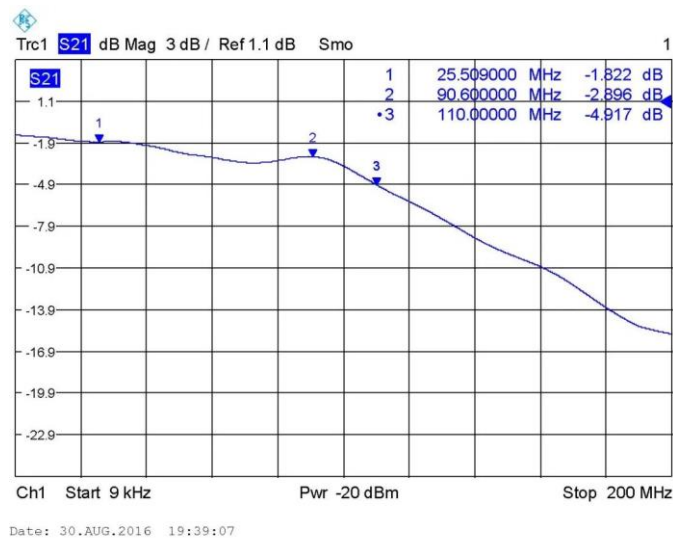
根据上图结果计算得到的输出噪声为：

待测 PD	测量参数	仅示波器	示波器+待测 PD	结果校正
SN2207003	平均/ μV	1590	952	$952 - 1590 = -638$
	峰-峰/mV	1.04	2.72	$\sqrt{\{2.72^2 - 1.04^2\}} = 2.51$
SN2207004	平均/ μV	35.7	460	$460 - 35.7 = 424.3$
	峰-峰/mV	1.04	3.16	$\sqrt{\{3.16^2 - 1.04^2\}} = 2.98$

- 无光输入 EDFA 的泵浦电流大小对探测器噪声水平的影响 (SN2207003, 5GS/s):



- 直流耦合 80MHz PDA1008 官方频谱响应:



- 不同泵浦电流下 EDFA 输入待测探测器测得的噪声频谱 (SN2207003, 5GS/s):

