



泰晶科技股份有限公司
TKD Science and Technology Co., LTD.

THE PURE HEARTBEAT OF THE INTELLIGENT
智算时代的“纯净”心跳

——高端时钟（晶振）器件的国产化突破

THE KEY DESIGN 掌握核心技术

2026年10月



算力互联升级正在抬高光模块参考时钟的技术门槛

AI集群带宽需求推动光模块速率升级，SerDes参考时钟的频率、抖动和相噪要求同步收紧

应用侧压力如何传导到参考时钟

- 1 AI算力集群**
多GPU协同训练，节点规模扩大
- 2 GPU互联带宽提升**
梯度/参数交换推高东西向流量
- 3 光模块800G→1.6T**
交换与跨机柜连接转向高速光互联
- 4 PAM4单lane速率提高**
符号周期缩短，眼图与时序余量收窄

高速光模块速率演进时间轴



参考时钟指标升级方向

单波长400G (400G/λ)

单波长承载400Gb/s，减少并行通道
电侧SerDes/DSP需要更干净参考时钟

- 1 更高参考频率**
156.25MHz → 312.5MHz → 625MHz
降低后级PLL倍频压力
- 2 更低RMS Jitter**
同样fs级抖动，在更短UI中占比更高
链路余量被更快消耗
- 3 更低相位噪声**
12kHz~20MHz积分区间更关键
近端抖动影响SerDes恢复

光模块速率演进推动参考时钟从“频率源”升级为影响高速PAM4链路余量的关键器件。

低抖动、高频率、小封装构成光模块参考时钟的三重门槛

当lane速率提升、UI持续缩短后，参考时钟的价值集中体现为三类指标

1

低抖动

抖动决定采样余量

PAM4眼图余量收窄后
参考时钟抖动会消耗采样窗口

单波200G

< 35 fs

12kHz~20MHz

单波400G

< 20 fs

12kHz~20MHz

积分区间说明

12kHz至20MHz，未加额外滤波/加权

2

高频率

高频参考降低PLL倍频压力

更高参考频率可减少PLL倍频比
降低倍频链路相噪压力

800G

156.25MHz

1.6T

312.5/625MHz

1.6T以上

625MHz

参考频率由DSP/SerDes平台定义，具体以平台方案为准。

3

小封装

小型化释放板级空间

高速走线、散热与供电空间紧张
时钟器件必须持续小型化

8.1mm²



3225

5.0mm²



2520

3.2mm²



2016

3225→2520→2016：面积下降约60%

低抖动决定链路余量，高频率适配DSP/SerDes架构，小封装支撑高密度光模块集成。

光互联 / GPU互联

高速光互联参考时钟：按平台边界匹配三类方案

从成熟固定频点到极低抖动与频点灵活配置，参考时钟方案需要同时覆盖成本、性能与平台迭代速度。

需求分层	成熟量产	高端DSP平台	快速开发	超宽频增强
	成本 / 交付 / 常用频点	312.5 / 625MHz低抖动	非通用频点 / 短交期	高频宽覆盖 / 更低抖动
01 高频泛音差分振荡器 成熟固定频点 / 成本优势明显 常见频点 抖动 156.25 / 312.5M 50fs / 33fs + 制程相对简单，具备批量成本优势 + 覆盖多数中端算力场景 + 适合常用差分时钟需求 边界：抖动余量不足，且不支持温度补偿	02 高基频石英差分振荡器 高端主线方案 / 追求极致低抖动 156/312.5M 625M 温度 30fs 15fs ±20ppm + Quartz MEMS光刻晶片支撑 + 可温补，覆盖-40~105℃ + 降低PLL倍频与相噪压力 面向1.6T及以上高端DSP平台参考时钟	03 Super-PXO / 可编程振荡器 频点灵活配置 / 宽频低抖动增强 PXO Jitter Super-PXO 200k~1.5G 55~110fs 18.8~21.8fs + 单BOM覆盖多频点 + 适合非标频点与快速验证 + 兼顾更宽频率与更低抖动 定位：补足频点灵活性与高端宽频覆盖		
底层能力	Quartz MEMS 石英微纳加工平台		支撑高频晶片、小型化与一致性，是高端固定频点方案的核心壁垒	
泛音方案体现性价比，高基频方案追求极致低抖动，Super-PXO / 可编程方案补足宽频与快速配置能力。				

算力场景时钟解决方案：泛音晶振

在成本优势明显的泛音路线中，TKD重点扩展了更高频点、提升抖动性能、降低异物失效风险

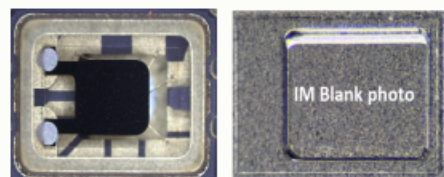
3次泛音让高频晶片更易加工



TKD泛音方案的价值与边界

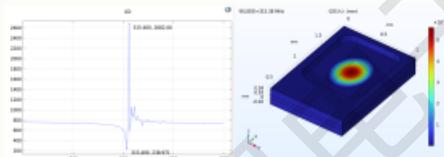
- + 光刻工艺制作晶片，性能一致性好
- + 降低异物失效风险，可扩展312.5M/625M
- + 有利于改善相噪表现
- + 边界：不支持温补，抖动难覆盖1.6T极限要求

高频晶片实物与仿真



156.25M泛音晶振

312.5M泛音晶片



光刻晶片为高频泛音扩展提供本体基础

关键规格

抖动	抖动	温度	封装
50fs	33fs	±50ppm	2016
@156.25M	@312.5M	-40~105℃	3225/2520/2016

甜点区

- ▶ 400G / 800G 光模块参考时钟
- ▶ 部分 1.6T 对成本、交付、国产替代更敏感，且抖动余量仍可接受的方案
- ▶ 需要 156.25MHz / 312.5MHz 高频差分输出，但暂不要求温补的场景
- ▶ 客户二供、国产替代、快速导入、批量降本项目

相噪统计与抖动结果

156.25MHz 相噪统计

NO.	10Hz	100Hz	1kHz	10kHz	100kHz	1MHz	10MHz	20MHz	Jitter fs-rms
MIN	-90.26	-117.91	-141.81	-154.75	-160.16	-161.91	-162.95	-162.47	50.08
MAX	-76.91	-106.77	-136.66	-150.82	-157.89	-160.48	-161.37	-161.40	52.01
AVG	-84.83	-114.50	-139.73	-152.76	-158.83	-161.13	-162.17	-161.94	50.72

单位：相噪为 dBc/Hz，抖动为 fs-rms；Jitter积分带宽为12kHz~20MHz。

312.5MHz 相噪统计

NO.	10Hz	100Hz	1kHz	10kHz	100kHz	1MHz	10MHz	20MHz	Jitter fs-rms
MIN	-77.17	-104.27	-132.32	-149.60	-156.55	-159.85	-161.53	-162.20	28.46
MAX	-68.84	-99.70	-127.91	-144.91	-152.78	-156.12	-158.81	-159.47	39.17
AVG	-72.81	-101.99	-130.08	-147.45	-154.35	-158.48	-160.05	-160.67	33.18

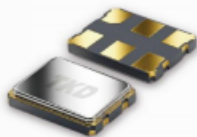
TKD的价值在于，把传统泛音路线进一步升级为光刻泛音路线，使其在一致性、失效率、相噪和高频扩展上更接近高端应用要求

算力场景时钟解决方案：高基频晶振

振荡器面向直接交付的低抖动参考时钟，谐振器面向与IC合封的高频核心器件

高基频振荡器

直接交付参考时钟



频率	156.25M ~ 625M
尺寸	3225 / 2520 / 2016
抖动	30fs@156/312.5M; 15fs@625M
温度	±20ppm (-40~105℃)

交付边界

输出 LVDS/LVPECL

温补 支持

封装 3225/2520/2016

应用 DSP/SerDes

- 可直接作为光模块参考时钟交付，覆盖高端固定频点需求
- 高基频输出降低后级PLL倍频压力，改善高速链路相噪预算

振荡器相噪测试数据 (AVG, dBc/Hz)

Jitter: 12kHz~20MHz

频点	10Hz	100Hz	1k	10k	100k	1M	10M	20M	fs
156.25M	-58.9	-89.7	-119.0	-144.3	-156.1	-162.2	-166.1	—	28.7
312.5M	—	-77.2	-108.6	-134.5	-154.5	-160.8	-161.3	-162.4	29.6
625M	-42.3	-70.7	-99.8	-129.6	-153.4	-158.7	-162.1	-162.5	14.8

数据来源：泰晶科技股份有限公司（光模块频点）

高基频谐振器

用于与IC合封成振荡器



频率	156.25M ~ 312.5M
尺寸	2520 / 2016 / 1612 / 1210
电阻	RR均值9.86Ω
SPDB	均值-7.05dB

合封关注点

低电阻 起振裕量

Q值 相噪基础

SPDB 寄生抑制

小尺寸 1210能力

- 谐振器不直接交付时钟输出，重点服务于与IC合封的高频核心器件
- 常温数据重点看电阻、Q值和SPDB，决定起振裕量与寄生风险

2016 312.5M谐振器常温关键数据

指标	有效n	Min	Avg	Max
RR Ω	425	9.28	9.86	11.97
RLD2 Ω	425	9.56	10.19	14.34
Q k	425	7.98	9.55	10.69
SPDB dB	412	-10.56	-7.05	-3.77

数据来源：2016 312.5 LVDS 晶体数据

312.5MHz高基频方案把1.6T平台参考时钟推进到30fs级

RMS Jitter

29.55fs

12kHz~20MHz/LVD5

温度频偏

 $\pm 20\text{ppm}$

-40~105°C

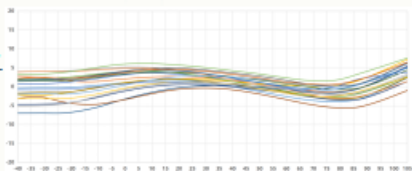
封装

3225/2520/2016

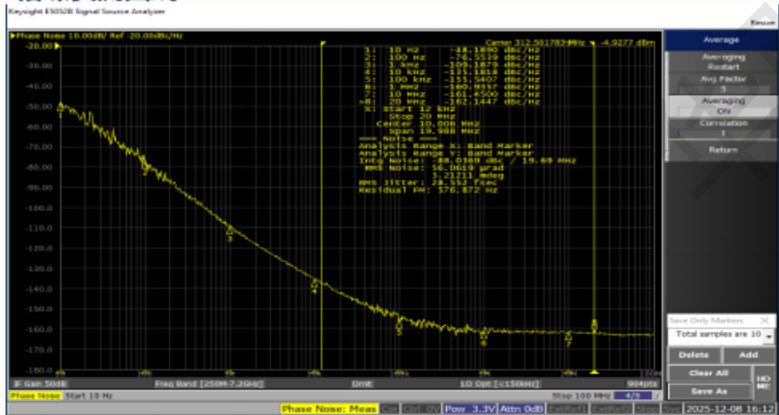
高密度模块

温度频偏验证

- 频偏窗口覆盖 $\pm 20\text{ppm}$ 与 $\pm 50\text{ppm}$ 产品定义
- 宽温下维持稳定输出, 支撑长期可靠运行



相噪实测曲线



625MHz高基频方案为1.6T以上平台降低倍频压力并逼近15fs抖动

基频

625MHz

High Base Frequency

相位抖动

15fs

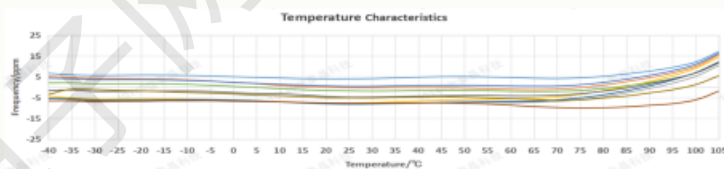
12kHz~20MHz/LVD5

封装

2520/2016

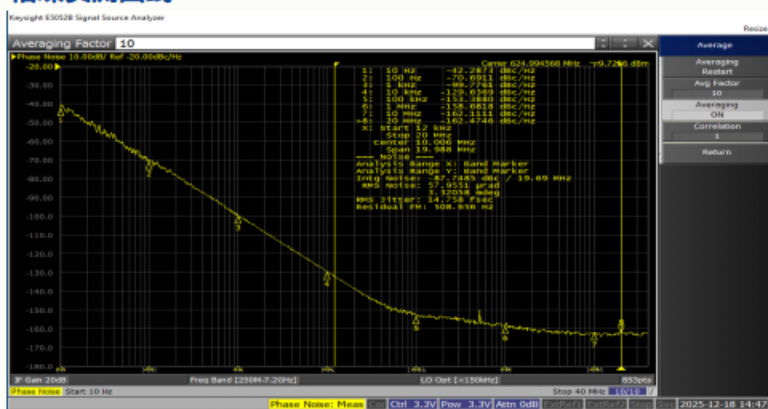
高密度模块

宽温频率稳定性

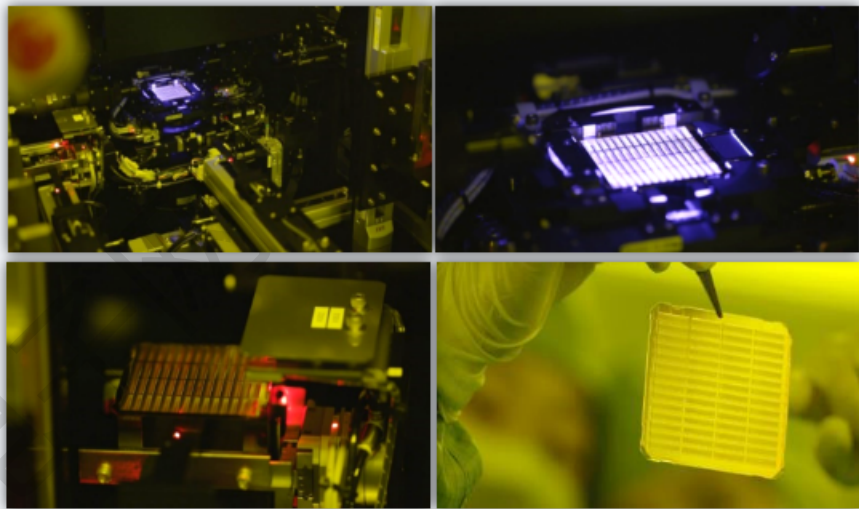


625MHz在宽温窗口内维持稳定频率输出, 支撑系统长期运行

相噪实测曲线



● 高基频石英光刻晶片制造工艺



🏠 石英晶片传统切磨抛工艺流程-局限性

⚡ 效率低下

单个晶片独立加工，生产效率低

📏 厚度极限

研磨抛光减薄，厚度极限~30μm

✂️ 尺寸限制

尺寸越小良率下降越明显

📊 一致性差

温度频率特性一致性较差

🏠 QMEMS+光刻工艺制程-先进性

⚡ 高效批量生产

4寸石英晶圆批量加工，能加工3D结构

👁️ 超薄减薄能力

湿法腐蚀减薄，最薄可减至~2μm

📏 小型化优势

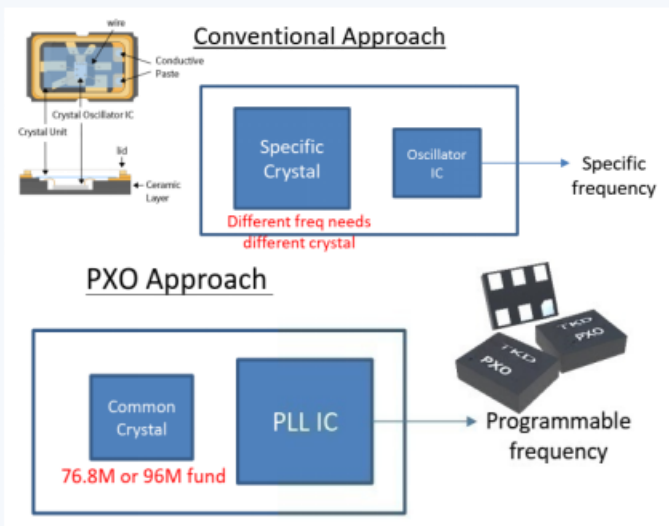
可做到1008型，研发0806型

📊 高精度一致性

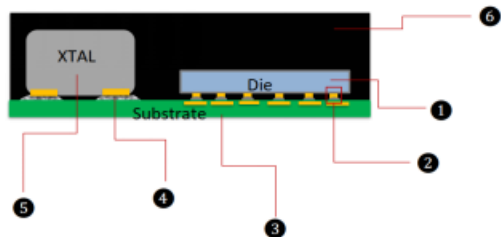
尺寸一致性高，精度可达1μm

● 算力场景时钟解决方案—可编程晶振PXO

可编程石英晶体振荡器 | 为高速光模块提供灵活时钟解决方案



基于普通谐振器生成 200KHz至 1.5GHz 的任意频率



⚙️ 关键技术规格

输出格式

LVDS

LVPECL

HCSL

电源电压

3.3V, 2.5V, 1.8V

封装尺寸

3.2×2.5mm / 2.5×2.0mm

频率稳定度

±25ppm (-40°C~85°C)

±50ppm (-40°C~105°C)

相位抖动性能 (12kHz~20MHz)

70fs

典型值

55fs

超低抖动



快速交付优势

- ✓ 交货期短：可共用一个BOM，缩短开发周期
- ✓ 灵活配置：单一BOM覆盖多种频点需求



核心应用场景

- ⚡ 高频或非通用频点需求
快速开发与供应非常规频率点
- 🔄 112G SerDes参考时钟
满足Broadcom TH5等高速SerDes要求
- 🕒 紧急交付项目
单一BOM应对多样化时钟需求

算力场景时钟解决方案—可编程晶振PXO

PXO核心特性

频率范围

200 kHz 至 1.5 GHz

供电电压

3.3V, 2.5V, 1.8V

相位抖动

110fs Typ (12kHz~20MHz)

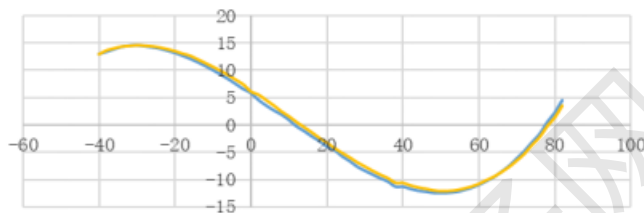
频率稳定度

±25ppm (-40°C~85°C)

Broadcom TH5 参考时钟要求

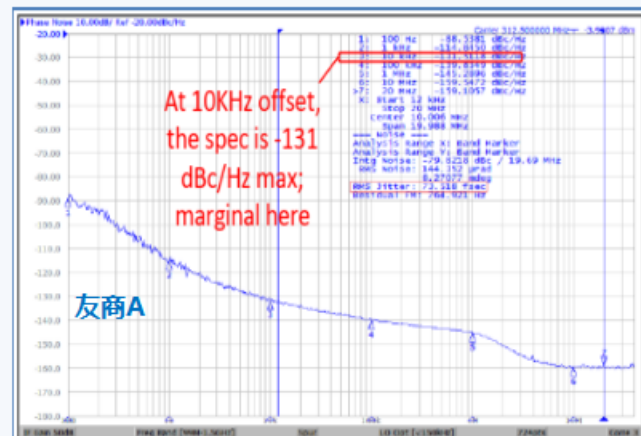
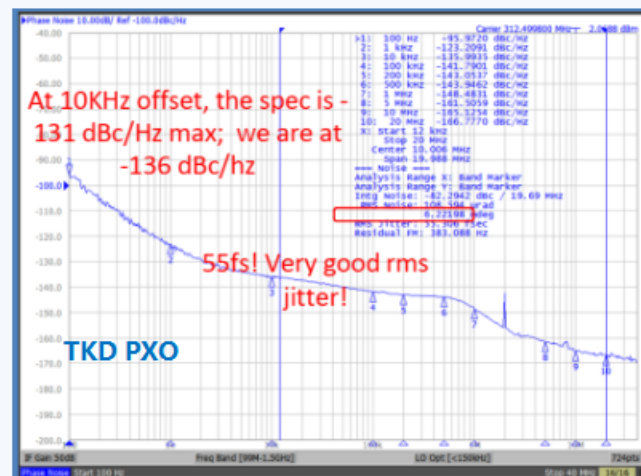
参数	最小值	典型值	最大值	单位
频率	-	312.5	-	MHz
频率偏差	-50	±25(推荐)	+50	ppm
占空比	40	-	60	%

温特曲线



Broadcom TH5 and other 112G Serdes reference clock requirement

Parameter	Symbol	min.	Typ.	Max.	Unit
Frequency	Cfreq	-	312.5	-	MHz
Frequency deviation	-	-50 -25(recommended)	-	+50 +25(recommended)	ppm
duty cycle distortion	-	40	-	60	%
Rise fall time(20% to 80%)	TrTf	-	300	400	ps
RMS jitter(12kHz to 20MHz)	-	-	-	0.1	ps-rms
Reference clock phase noise@10kHz	-	-	-	-131	dBc/Hz
Reference clock phase noise@100kHz	-	-	-	-137	dBc/Hz
Reference clock phase noise@1MHz	-	-	-	-143	dBc/Hz
Reference clock phase noise@10MHz	-	-	-	-158	dBc/Hz
Reference clock phase noise@100MHz	-	-	-	-163	dBc/Hz



光通信场景时钟解决方案—可编程晶振Super-PXO

超宽频率范围 · 超低抖动 · 卓越相位噪声表现

核心特性

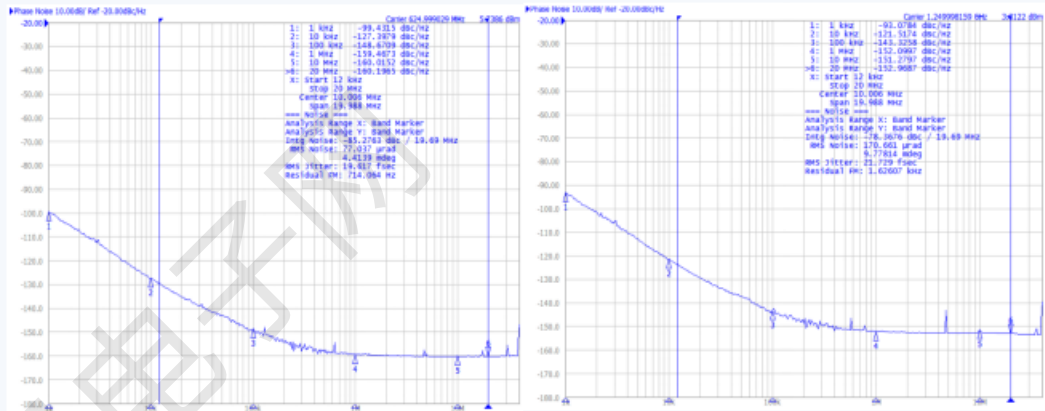
- 超宽频率范围: 20 MHz 至 2200 MHz
- 超低抖动: 12-20 MHz 带宽内典型值 18.8-21.8 fs
- 高稳定度: ± 20 ppm 总频率稳定度
- 输出格式: CML / LVDS / LVDS EXT / LVPECL / HCSL

技术规格

- 封装尺寸: 2.5×2.0 mm
- 工作电压: 单路 1.8V
- 启动时间: < 10 ms
- 温度范围: $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$
- 扩展温度: $-40^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$
- ESD防护: HBM 2000V

适用场景

- 高速光通信设备
- 光模块参考时钟
- 高精度信号传输系统



Offset frequency	312.5 MHz	491.52 MHz	625 MHz	1250 MHz	1600 MHz	Unit
1 KHz	-103	-98	-99	-93	-91	dBc/Hz
10 KHz	-132	-130	-127	-122	-119	dBc/Hz
100 KHz	-154	-152	-149	-143	-142	dBc/Hz
1 MHz	-164	-160	-159	-152	-152	dBc/Hz
10 MHz	-165	-161	-160	-151	-152	dBc/Hz
20 MHz	-166	-161	-160	-153	-152	dBc/Hz
RMS Jitter (12 KHz ~ 20 MHz)	21.8	21.6	19.6	21.7	18.8	fs

石英与硅基方案性能对比

关键频率点性能表现对比

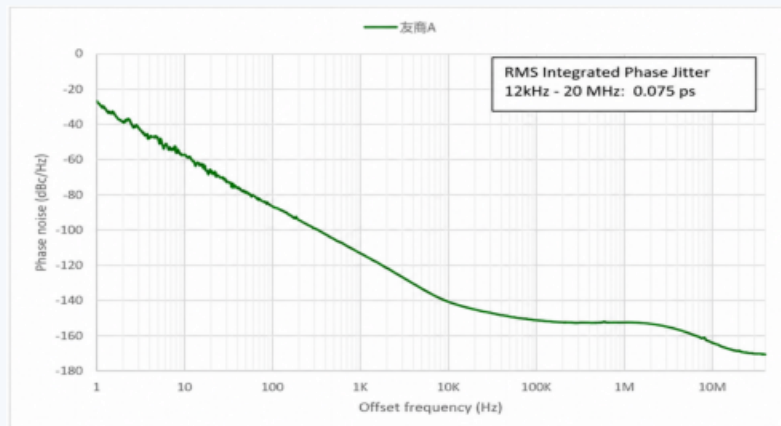
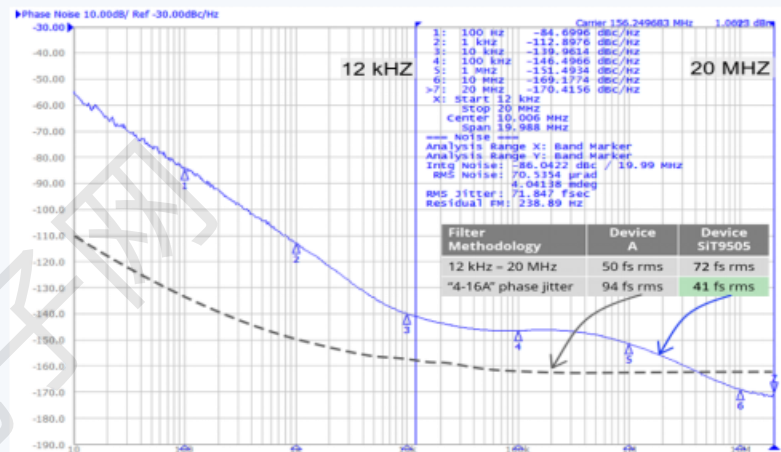
技术路径核心特点

◆ 石英基方案

- ✓ 基于石英晶体物理谐振，天生高Q值、高稳定性
- ✓ 在156.25MHz、312.5MHz、625MHz等关键频点，抖动性能普遍更优
- ✓ 长期老化率低，可靠性经过长期市场验证

⚙ 硅基方案

- ❶ 基于MEMS工艺，易于集成，成本有优势
- ❷ 在高频及对抖动要求严苛的场景，性能面临挑战
- ❸ 性能受工艺、温度影响相对较大



石英与硅基方案性能对比 (156.25MHz)

对比分析核心发现

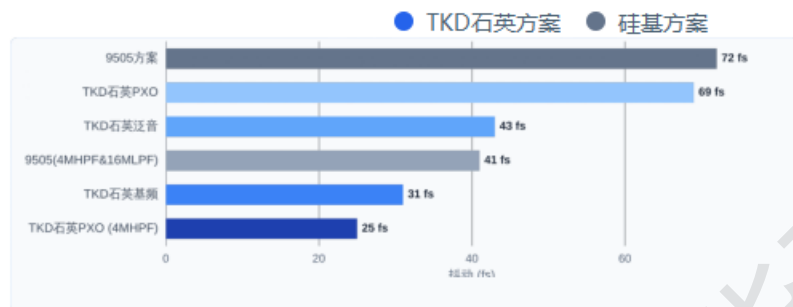
- TKD石英基频方案表现最优
抖动仅31fs, 显著优于硅基方案

- PXO方案性能提升显著
4MHPP滤波后抖动降至25fs

31 fs

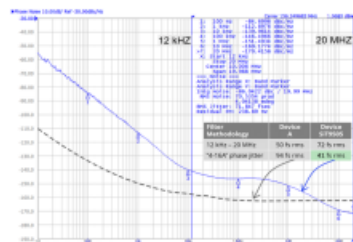
TKD石英基频最佳值
较硅基方案降低57%

156.25MHz各方案抖动性能对比

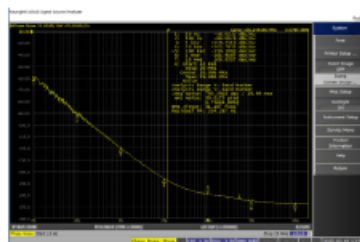


注: 抖动值越低表示性能越好, 单位: 飞秒 (fs)

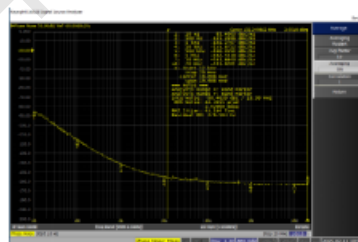
频率	方案	抖动 (fs)
156.25MHz	友商B MPPL方案	72
	TKD石英基频	31
	TKD石英泛音	43
	TKD石英PXO	69
	TKD石英PXO (4MHPP)	25
	9505(4MHPP&16MLPF)	41



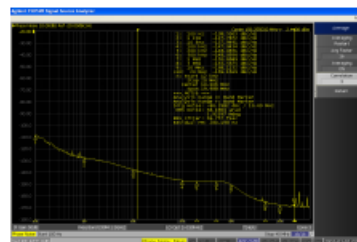
友商B MPPL方案
(156.25MHz)



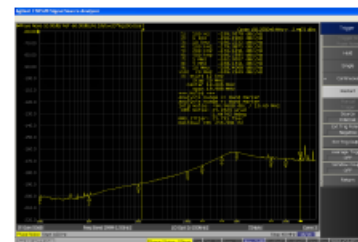
TKD石英基频方案 (156.25MHz)



TKD石英泛音方案 (156.25MHz)



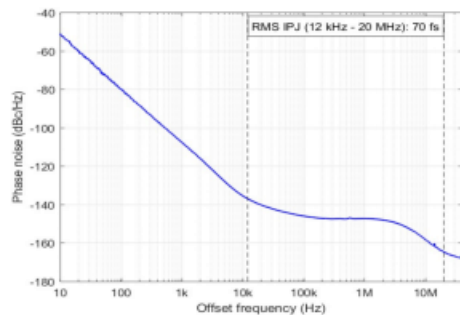
TKD石英PXO方案 (156.25MHz)



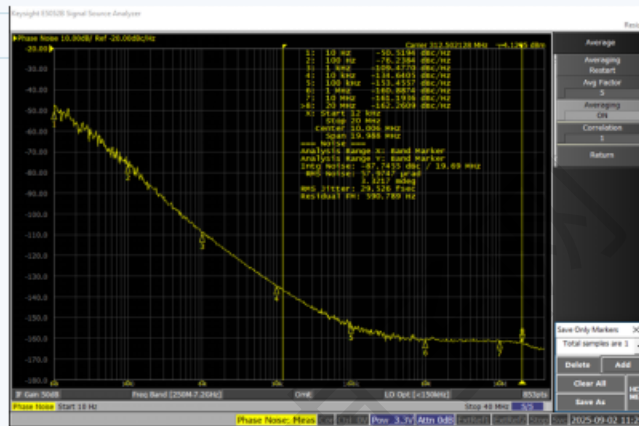
TKD石英PXO方案
(156.25MHz/4MHPP)

石英与硅基方案性能对比 (312.5MHz)

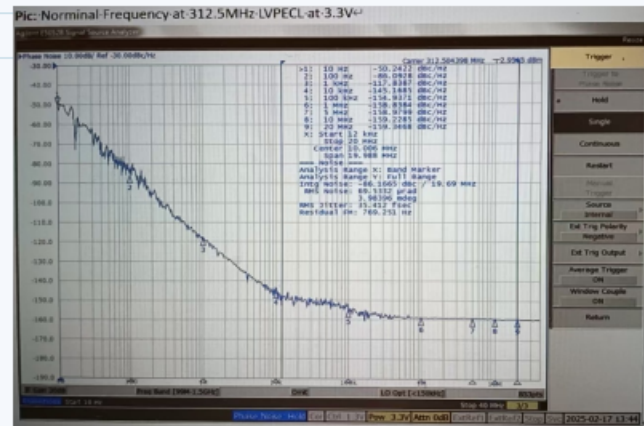
312.5MHz及以上高频场景抖动性能分析



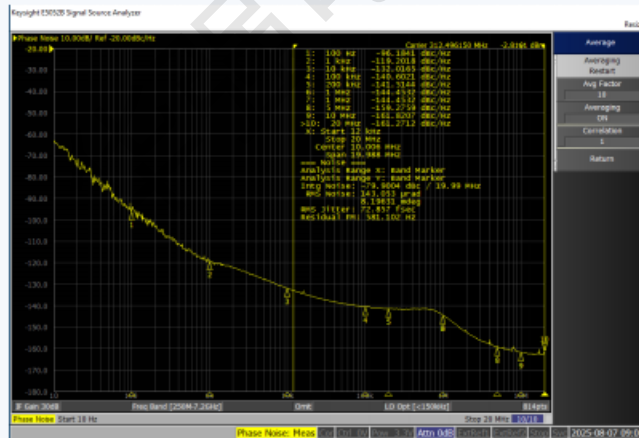
友商B MPLL方案
(312.5MHz)



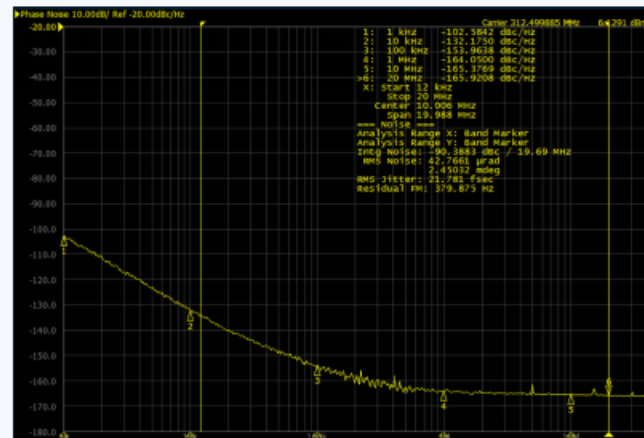
TKD石英基频方案 (312.5MHz)



TKD石英泛音方案 (312.5MHz)



TKD石英PXO方案 (312.5MHz)

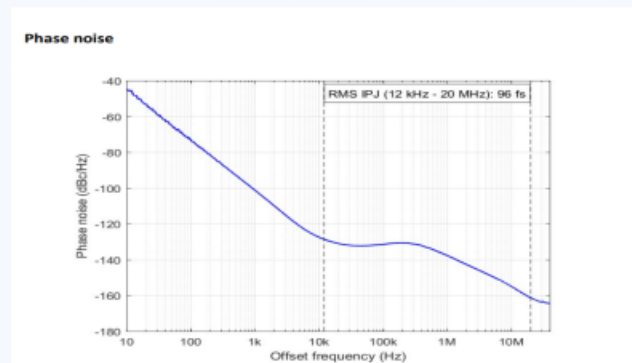


TKD Super-PXO方案 (312.5MHz)

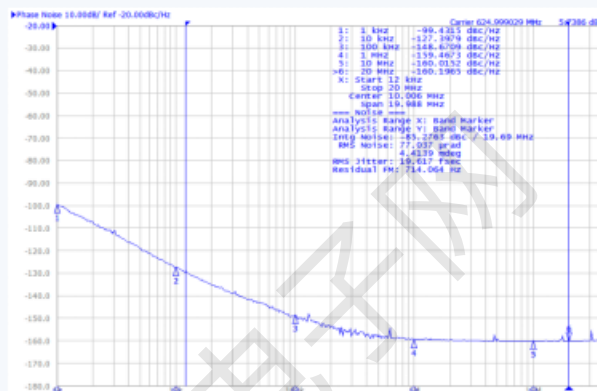
频率	方案	抖动 (fs)
312.5MHz	友商B MPLL方案	70
	TKD石英基频	29
	TKD石英泛音	35
	TKD石英PXO	72
	TKD-Super-PXO	22

石英与硅基方案性能对比 (625MHz)

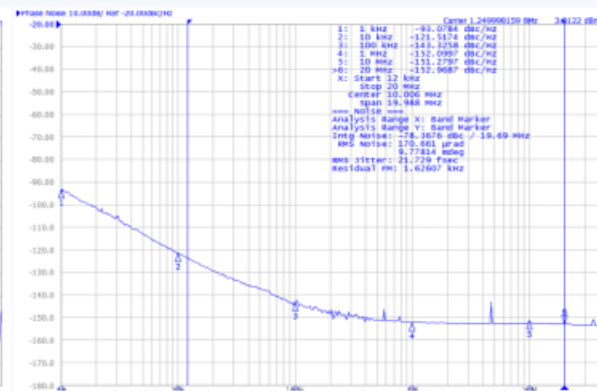
625MHz及以上高频场景抖动性能分析



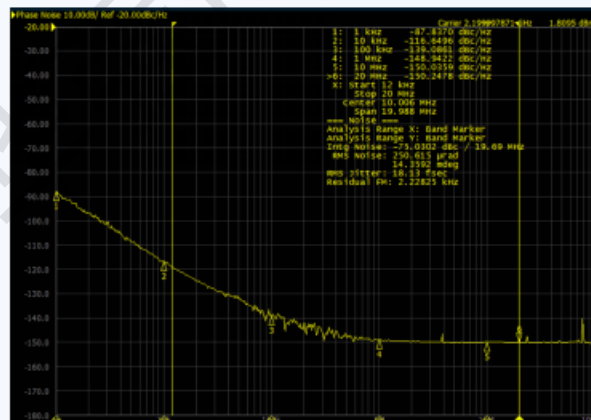
友商B MPLL方案
(625MHz)



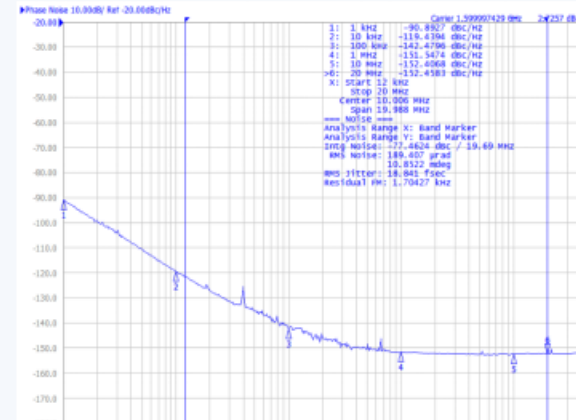
TKD Super-PXO方案 (625MHz)



TKD Super-PXO方案



TKD Super-PXO方案 (2200MHz)



TKD Super-PXO方案 (1600MHz)

频率	方案	抖动 (fs)
625MHz	友商B MPLL方案	96
	TKD Super-PXO	20
1250MHz		21
1600MHz	TKD-Super-PXO	19
2200MHz		18



泰晶科技股份有限公司

股票代码: 603738

TKD Science and Technology Co., LTD.

THANKS

谢谢交流，期待联合验证

泰晶科技股份有限公司

The Key Design · 掌握核心技术

股票代码: 603738



微信公众号



微信视频号



抖音



Bilibili

