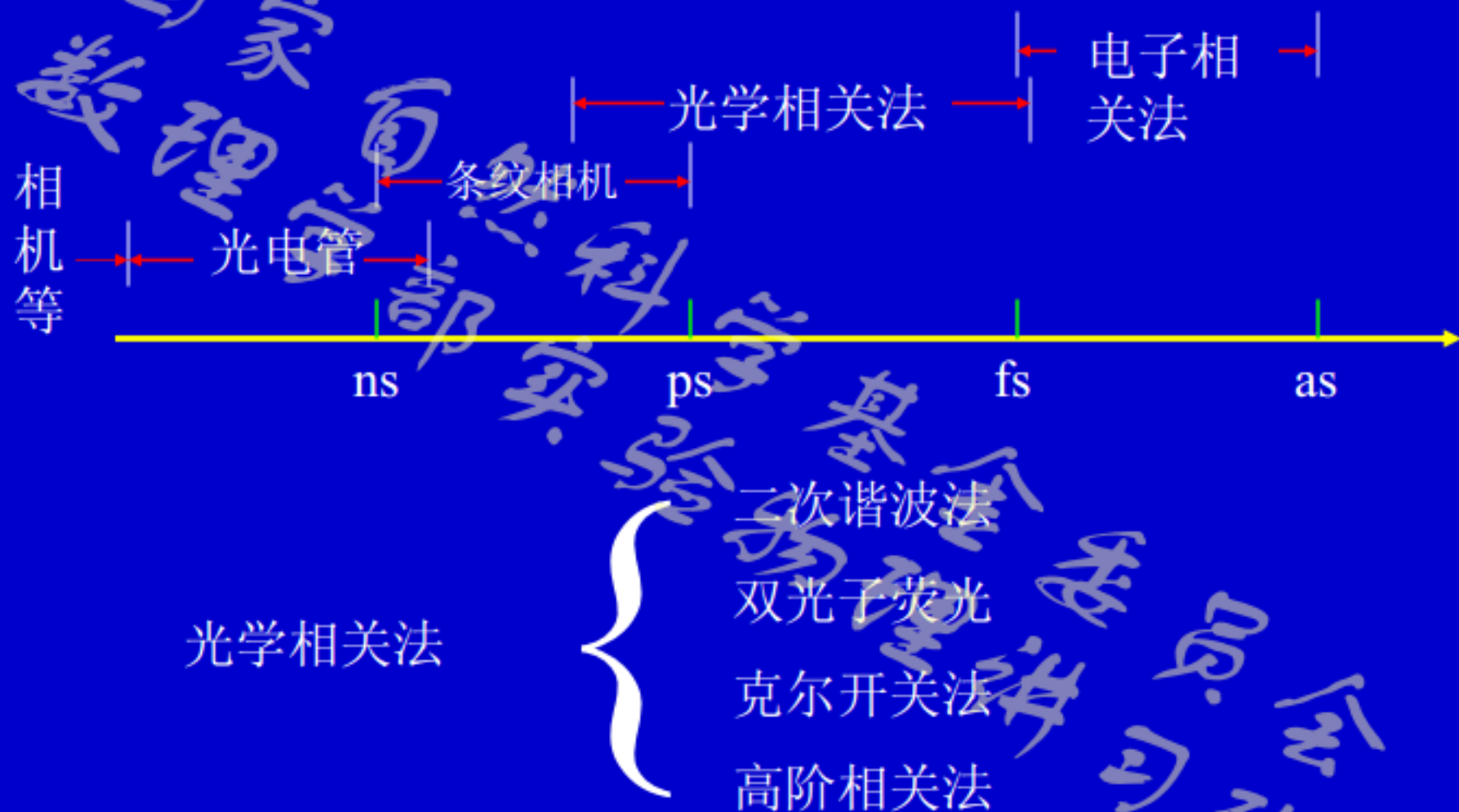


# 10. 脉冲宽度测量技术

## 二、时间分辨测量历史

—公元前4000年	天（白昼）
—公元前1500年	小时（日晷）
—1600年	秒（机械钟）
1700—1800年	$10^{-3}$ 秒（快速摄影）
1820—1850年	$10^{-6}$ — $10^{-7}$ 秒（电光源）
1850—1965年	$10^{-9}$ 秒（电子设备）
1970—1985年	$10^{-12}$ 秒（皮秒激光）
1990—2001年	$10^{-13}$ — $10^{-14}$ 秒（飞秒激光）
2002年	$10^{-15}$ 秒（阿秒脉冲产生）

# 时间分辨测量技术



## 10 . 脉冲宽度测量技术

( 1 ) 直接测量法 , 包括

高速示波器法 : ns

( 2 ) 间接测量法 , 包括

条纹相机法 : ps; fs

( a ) 相关法

I 线性相关法

II 非线性相关法

强度二阶相关法 ( 二次谐波 )

共线相关法

非共线相关法

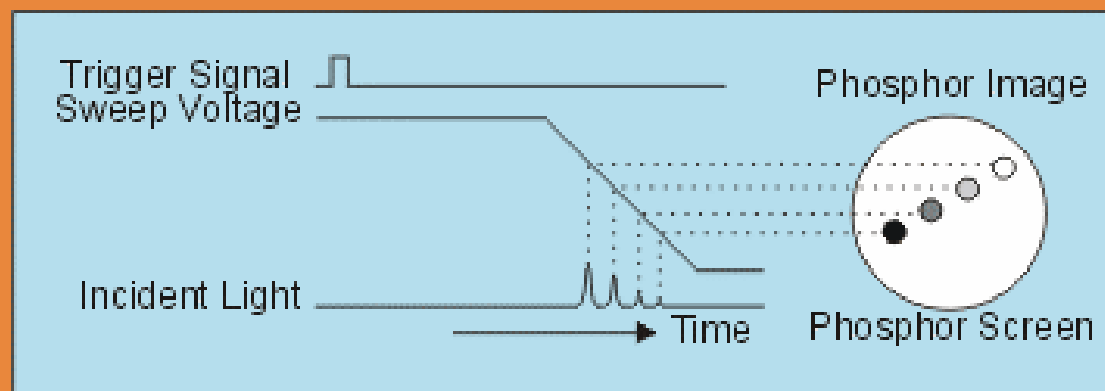
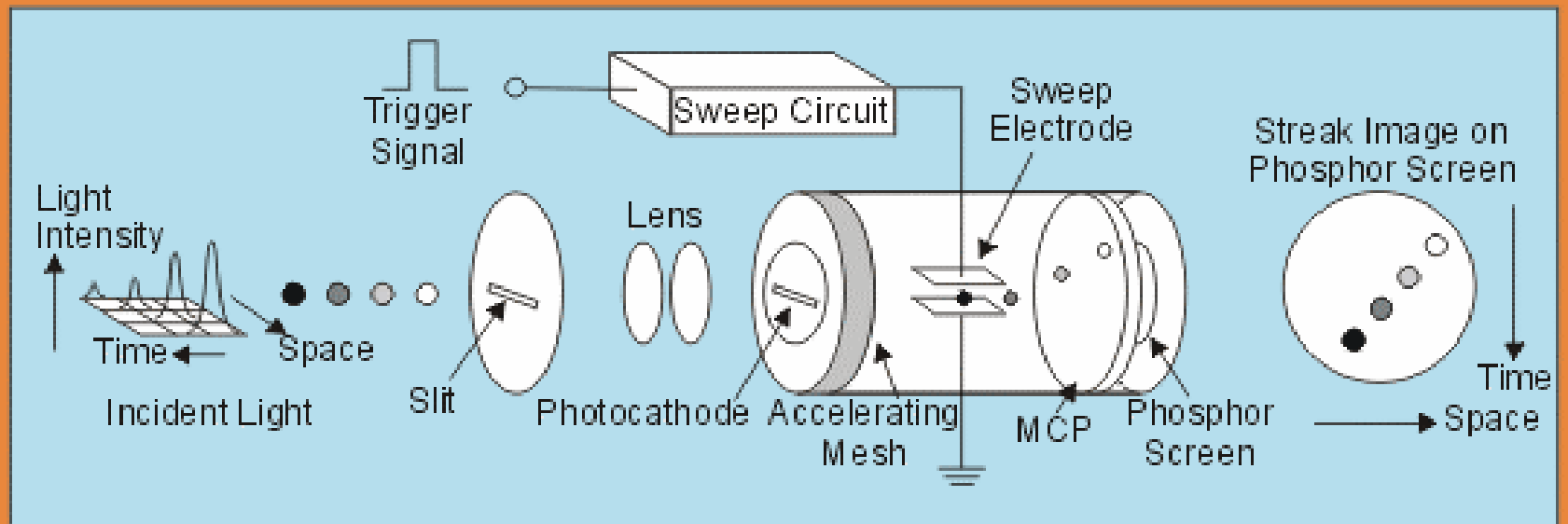
振幅四阶相关法

( b ) 荧光法 : 双光子 , 三光子吸收

## 10 . 脉冲宽度测量技术---- ( 1 ) 条纹相机

- ◆ 典型的条纹相机由条纹管、快速扫描电极、输入和输出装置组成。条纹相机主要是用来测量超快荧光。
- ◆ 获得**强度，波长及时间为坐标的三维光谱**。
- ◆ 超短光脉冲诱导的、从样品发出的**荧光**被聚焦在条纹相机的**光阴电极**上，从**光阴电极上释放的光电子**流量与聚焦在光阴电极上的荧光强度成比例，这些电子在加速电场中被加速，然后在**偏转电场中被偏离**，最后**入射到荧光屏**的磷光粉上。
- ◆ 因此，在**不同的时刻，从光阴电极上释放出来的光电子入射到荧光屏上位置**也不同。这样在荧光屏上就可以看到一条条轨迹或者称之为条纹，这些条纹的空间分辨率直接对应于荧光的时间分辨率。

# 10 . 脉冲宽度测量技术-- ( 1 ) 条纹相机



## 10 . 脉冲宽度测量技术- ( 2 ) 双光子荧光法

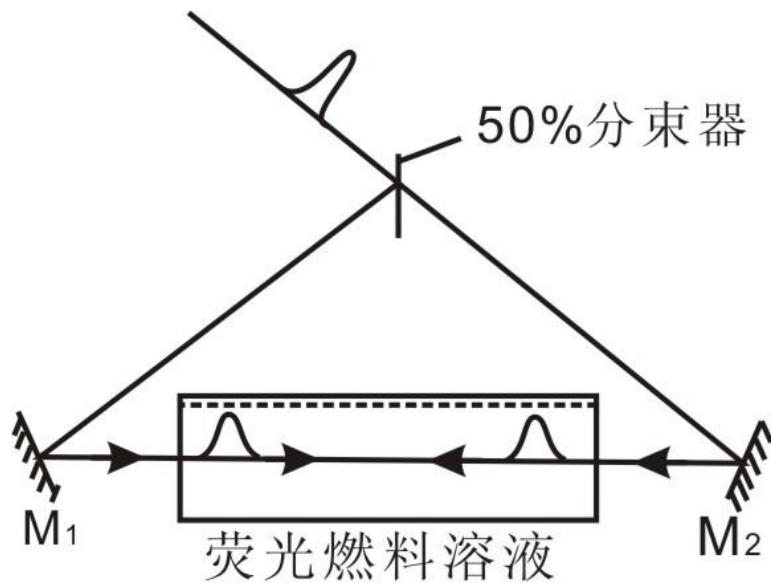


图3.6-6 双光子荧光法装置及照片

# 10 . 脉冲宽度测量技术

## --- ( 3 ) 干涉 ( 二次谐波共线 ) 自相关

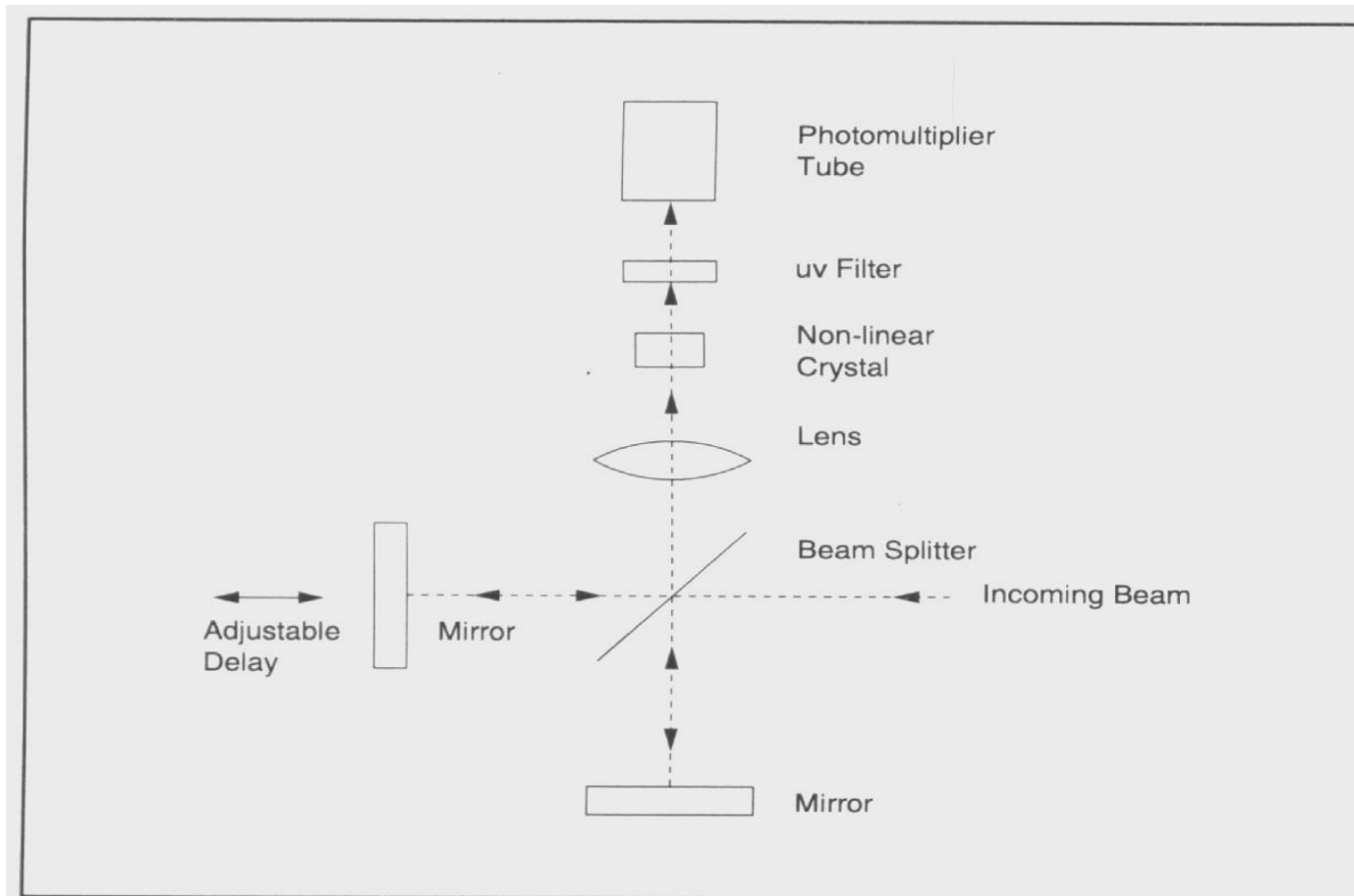
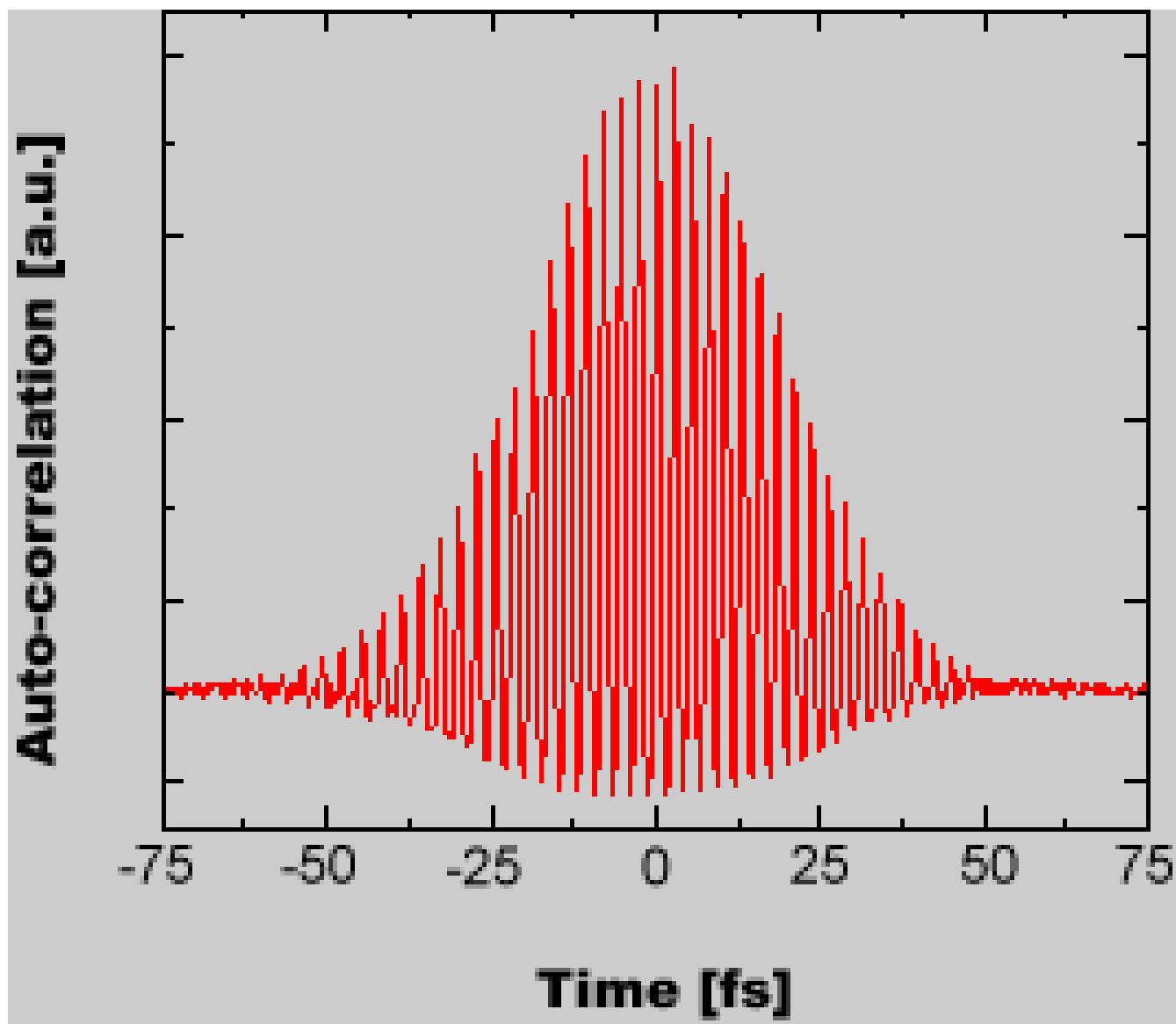


Figure B-1: Interferometric (Collinear) Autocorrelation

# 干涉（二次谐波共线）自相关





# 10 . 脉冲宽度测量技术

## --- ( 4 ) 二次谐波非共线相关法

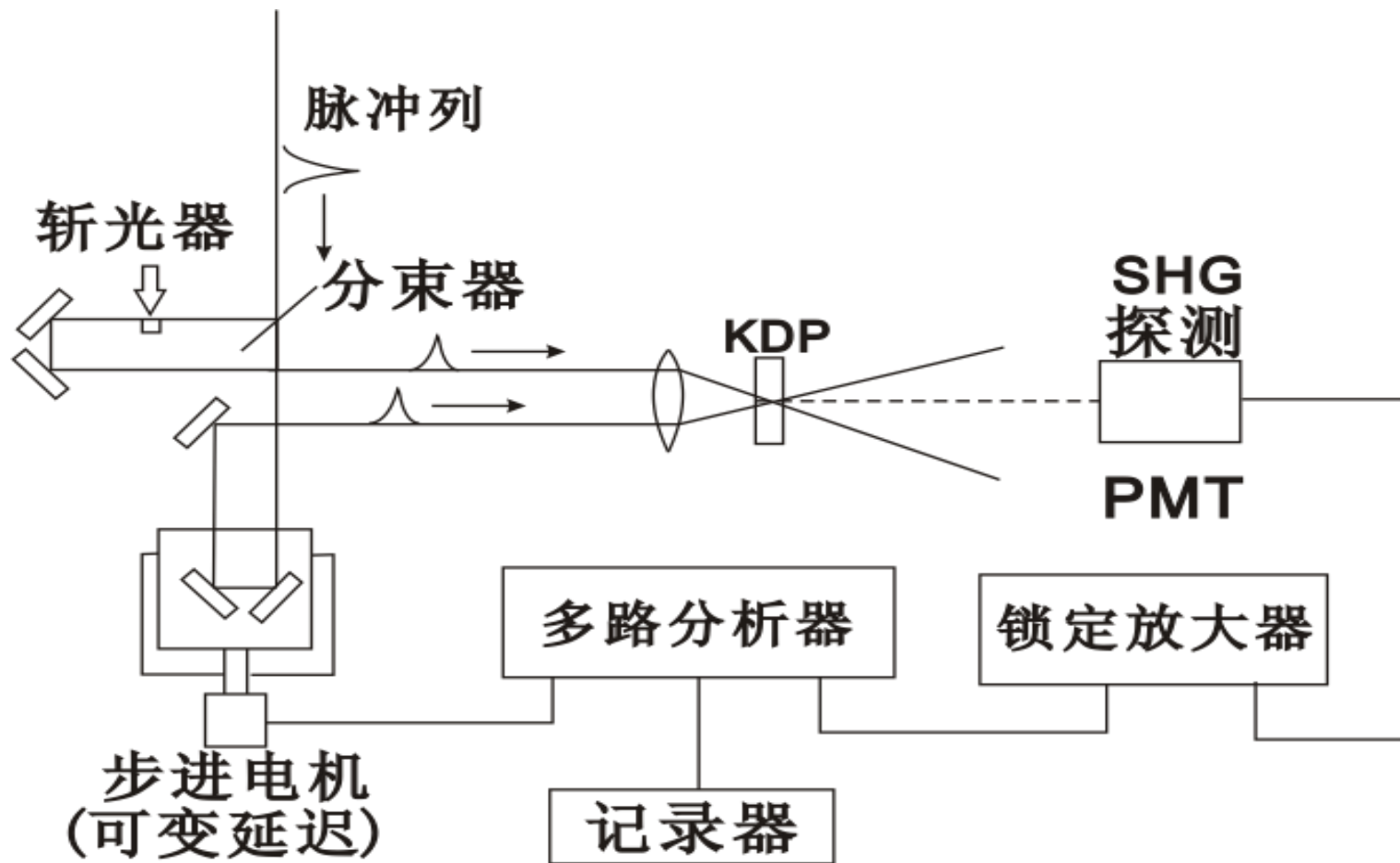
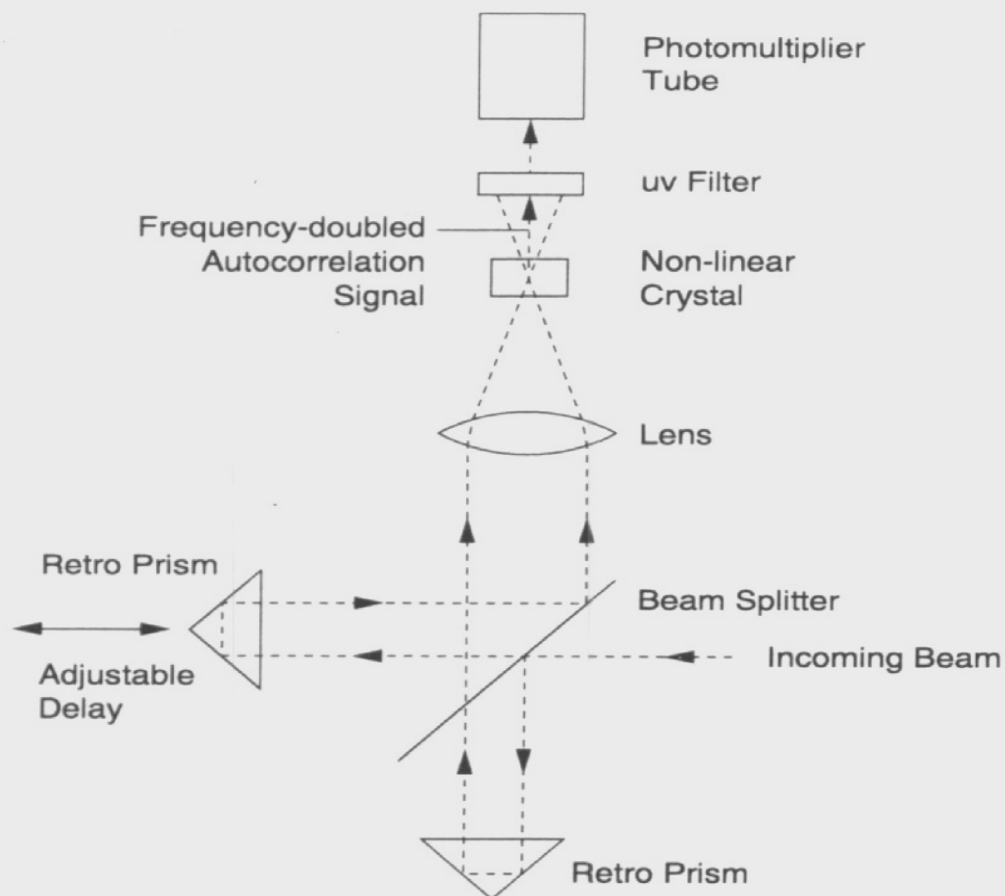


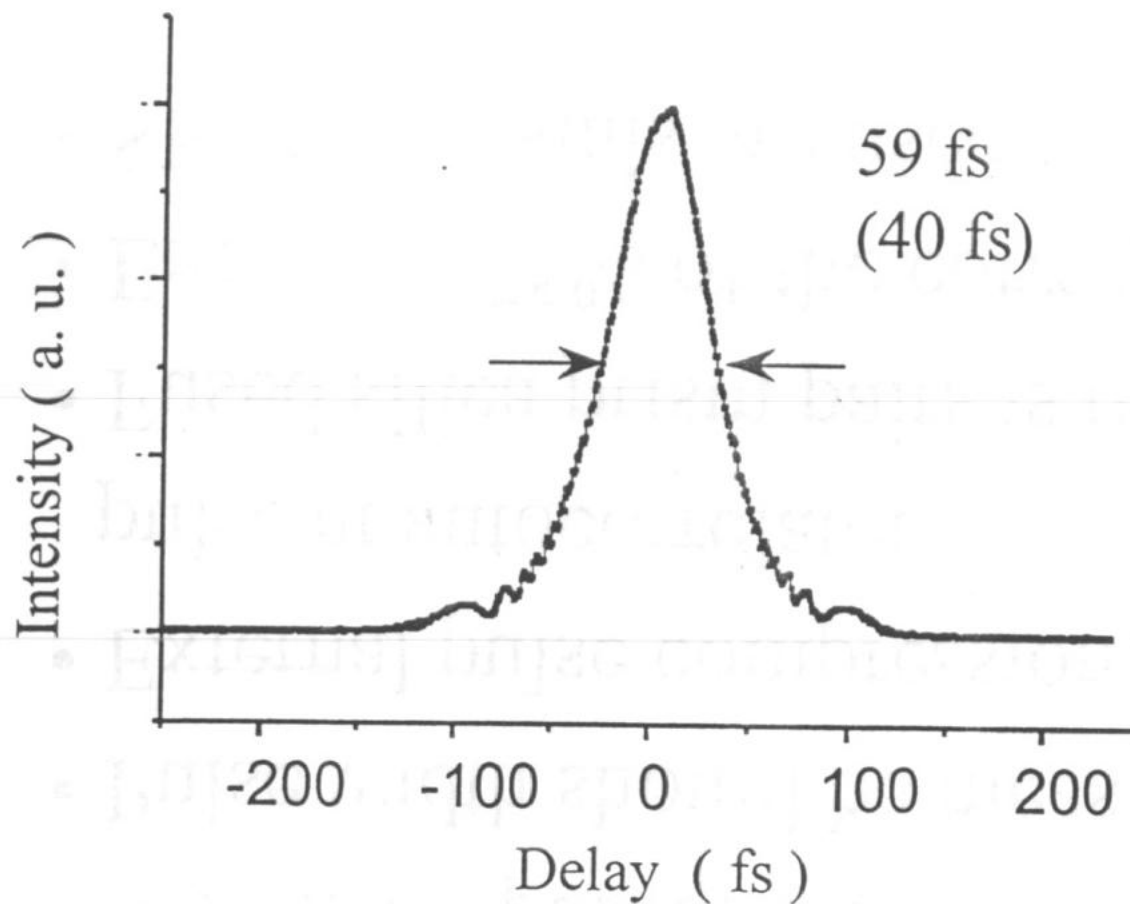
图3.6-8 二次谐波的非共线相关的实验装置

# 无背景（非共线）自相关



**Figure B-2: Background-free (Non-collinear) Autocorrelation**

# 无背景（非共线）自相关



# 实时非共线自相关测量

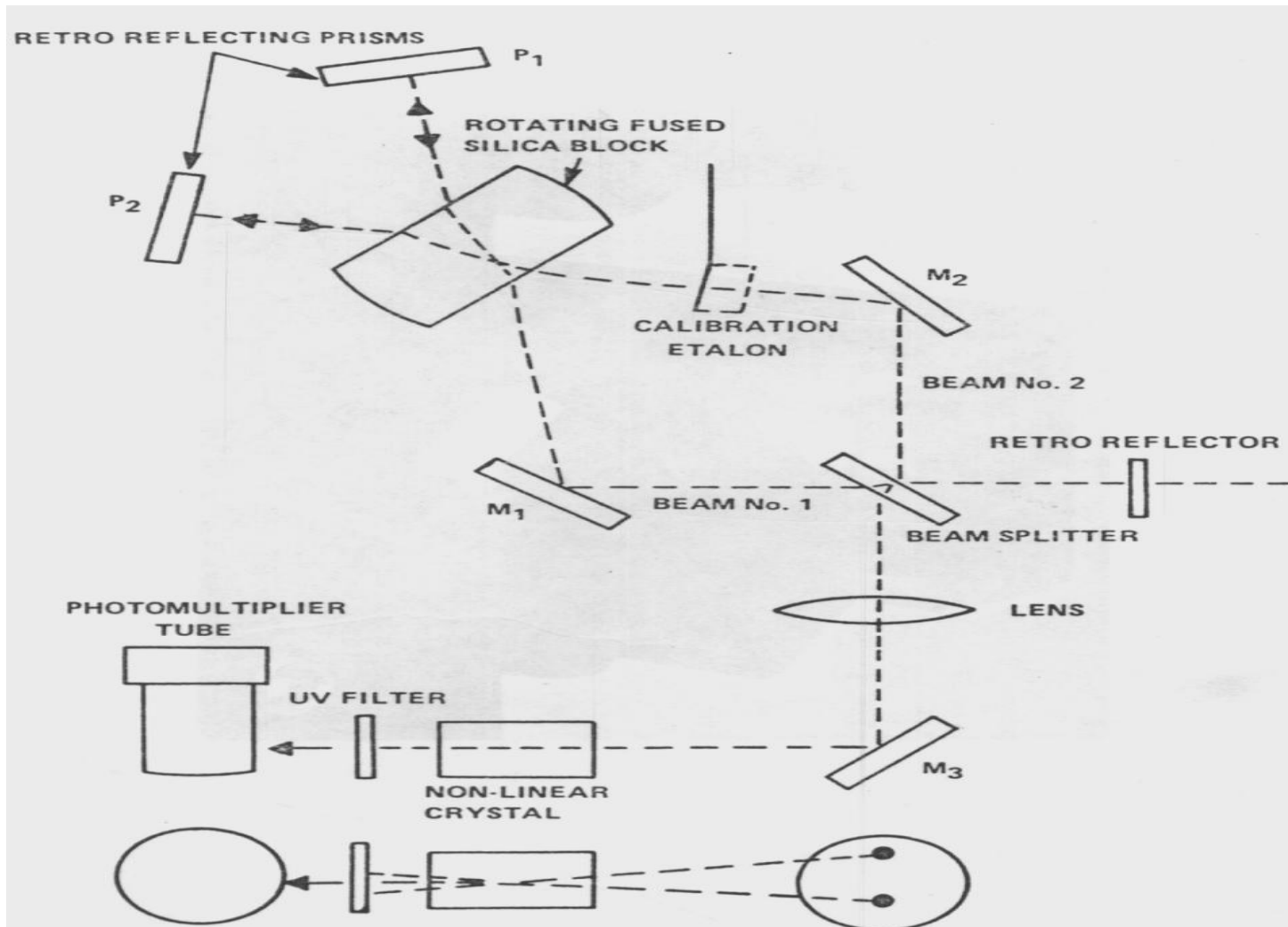


FIGURE 5.4 Model 409 Internal Beam Path Configuration

# 11、激光脉冲宽度与相位测量

## ◆FROG技术

(frequency-resolved optical gating)

## ◆SPIDER技术

(spectral phase interferometry

for direct electric-field reconstruction)

## ◆阿秒?

# 飞秒脉冲振幅和相位测量-- ( 1 ) FROG技术

## ◆FROG技术

它是一种可以直接测量飞秒脉冲的振幅强度和相位的高新技术，比自相关技术先进。

它打破了自相关技术的两个局限性：

**第一**，要先假设出脉冲的形状并用来推断脉冲宽度，考虑到正确假设脉冲形状的困难，所以在测量中总是存在固有的错误

**第二**，虽然在干涉测量自相关中有一些相位信息并且已经努力去获取这些信息，但是在实际中很容易在校准和结盟这两方面发生错误。

# 飞秒脉冲振幅和相位测量—(1) FROG技术

## ◆FROG技术

二次谐波产生FROG技术（SHG-FROG）技术通过测量二次谐波信号的光谱特性图并通过运用一个相位修补运算法则加工处理这个光谱图就得到了脉冲的振幅相位特性。

另外还发展了和频（SFM）、差频（DFM）和交叉相关探测的FROG技术。其基本原理与SHG-FROG相同。



# FROG与自相关仪灵敏度区别

❖一般的脉冲激光，都可以通过FROG与自相关仪测出，然而，如果激光的平均功率太弱，或者脉宽太宽导致峰值功率太弱，FROG是很难测出来的。

Real-time Sensitivity ( $I_{\text{peak}} \cdot I_{\text{ave}}$ )	$4 \text{ W}^2$
Averaged Sensitivity ( $I_{\text{peak}} \cdot I_{\text{ave}}$ )	$< 0.1 \text{ W}^2$ ( $0.01 \text{ W}^2$ FS Ultra)

Mesaphotonics FROG灵敏度

## Specifications

- Sensitivity:  $0.5 \times 10^{-8} \text{ W}^2$

Femtochrome 自相关仪灵敏度

由于FROG使用的是光谱仪，传感器只是CCD，相对于自相关仪的光电倍增管或者光电二极管，其单个像素的灵敏度肯定是大为降低的。因此两个产品的适用范围是不一样的，相对而言，自相关仪更适合弱光使用。



# 飞秒脉冲振幅和相位测量—(2) SPIDER技术

## ◆SPIDER技术

**SPIDER是一种利用自参考干涉技术来测量超短光脉冲位相分布的方法。**

**与其它技术相比，其特点是一种非迭代的反演算法，因此测量的速度快，可以实现20Hz的刷新速率，是一种实时测量和诊断装置。**

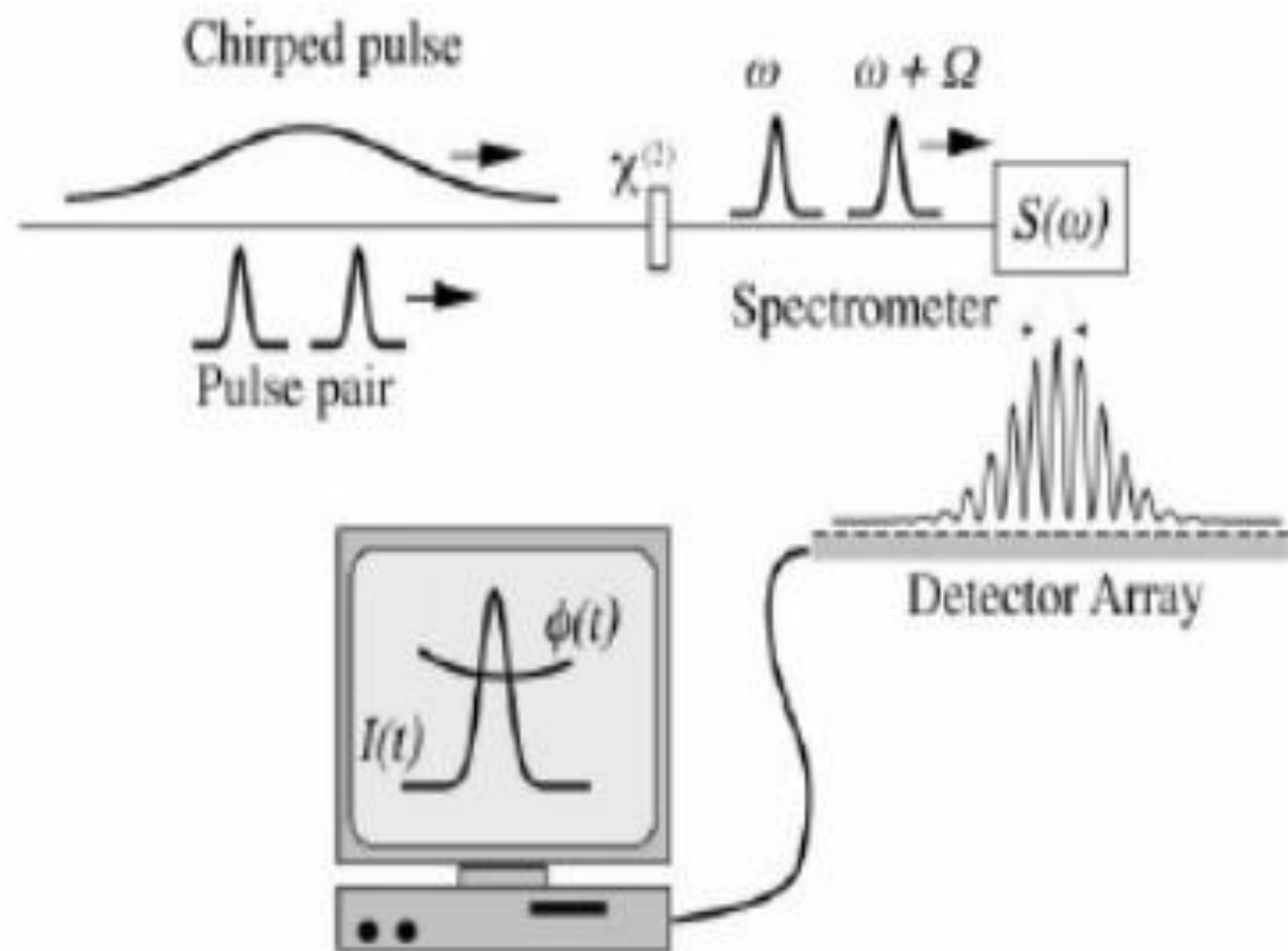
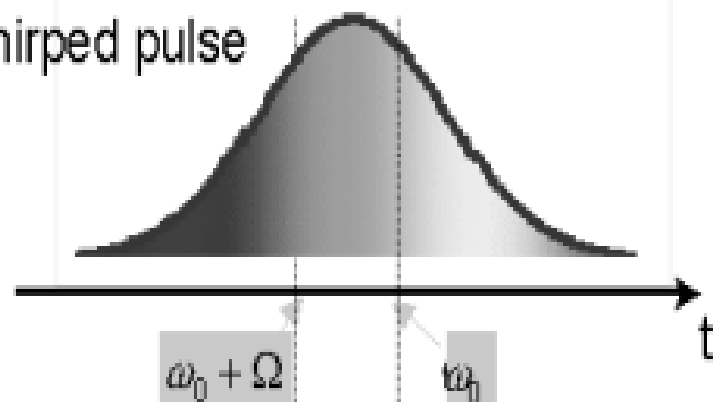


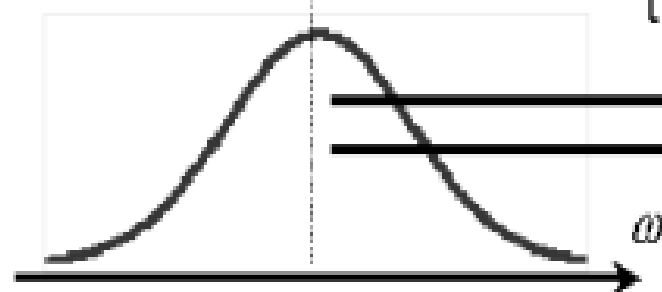
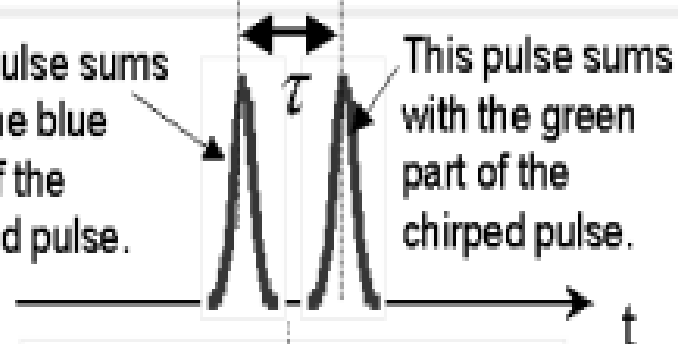
图 1.1 频率上转换 SPIDER 实验装置图

## Input pulses

### Chirped pulse



This pulse sums with the blue part of the chirped pulse.



SFG

## Output pulses

Two replicas of the pulse are produced, each frequency shifted by a different amount.

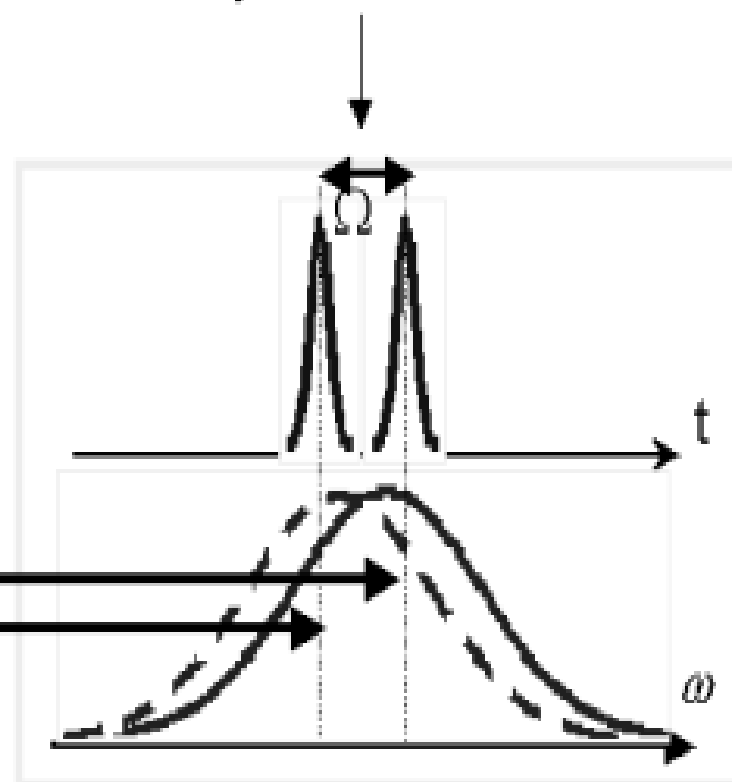


图 1.2 产生频率侧切过程示意图

# 11. 飞秒脉冲振幅和相位测量

## ◆ SPIDER技术与FROG技术比较

- 1、**SPIDER技术**只需要获得一维空间排列信息，而**FROG技术**需要大很多的二维空间排列信息；
- 2、**FROG技术**需要精深的计算修补运算法则，而**SPIDER技术**不需要，取而代之的是相对简易很多的倒置规则。但是对于测量不同的光学脉冲。

# 11、激光脉冲宽度与相位测量

## ◆ SPIDER技术与FROG技术比较

3、**SPIDER技术**适用范围较宽，它可以在从红外光到蓝光的很宽波长范围内使用，能够探测从ps量级到最短6fs的超短脉冲；适用于从放大器到振荡器输出的脉冲信号；并可以实现单脉冲测量。

4、**SPIDER技术**潜在地要求非常不同的机制。这就限制了它的灵活性。