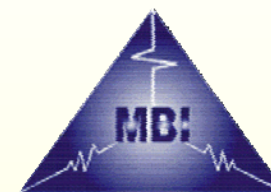


# 可编程声光色散滤波器AOPDF的光谱相移测量和残留角色散测量



**A. Börzsönyi<sup>1</sup>, A. P. Kovács<sup>1</sup>,  
M. P. Kalashikov<sup>2</sup>, M. Merő<sup>3</sup>, K. Osvay<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> 匈牙利Szeged大学光学与量子学学院

<sup>2</sup> 德国柏林Max Born 研究院

<sup>3</sup> 匈牙利Szeged大学HAS激光物理研究小组

# 提要

- 目的—解决可编程声光色散滤波器 (Dazzler®)中的问题
- 采用空间光谱分辨干涉技术
- 检测Dazzler装置设定的光谱相移的精度
- 检测Dazzler装置整形的角偏差和色散情况
- 结论

# 目的

对光束脉冲的光谱相位  
柔性控制的需要:

周期量级激光系统

目标的脉冲持续时间:

-光谱相位的调整

高强度啁啾脉冲放大CPA激光

时域对比:

-光谱相位的调整

-残留角色散

一套有效的解决方案:

可编程声光色散滤波器 (AOPDF)

Tournoise, Opt.Comm. **140** (1997) 245

版本一: 角色散度强

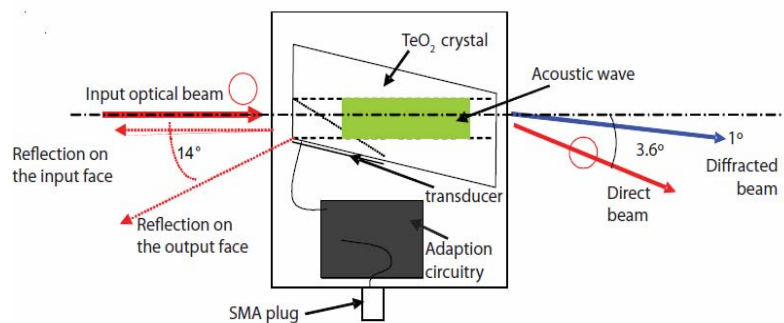
**Dazzler®** 新型商业化设计

没有测量角色散的报告

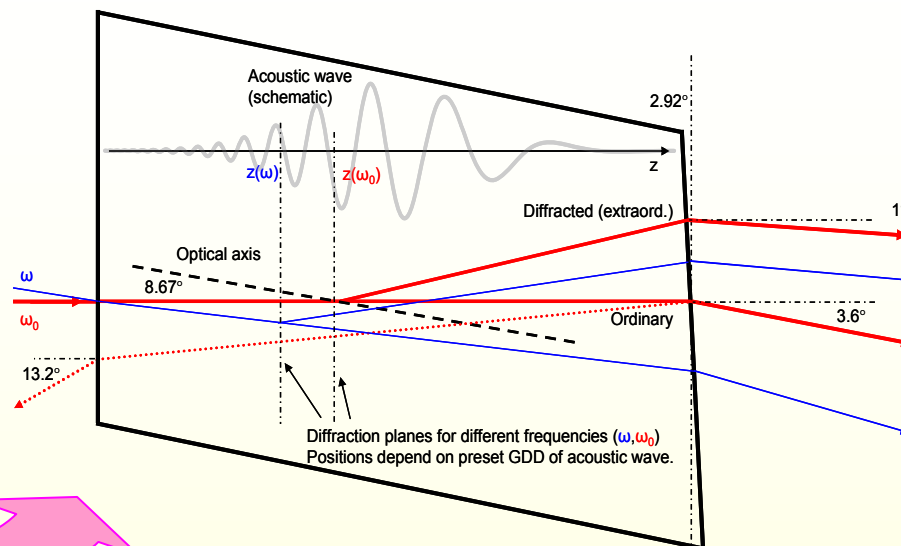
光谱相位控制的精度:

一个报告; 分辨率低 (使用**FROG: 100fs<sup>2</sup>**)

# 目的



www.fastlite.com



样本中的几何数据假定块体材料为  $\text{TeO}_2$

从中:

角色散的补偿精度到底  
有多少高?

可编程声光色散滤波器在  
周期量级激光 (PFS等) 和  
极端场激光系统 (ELI, HiPER, ...)  
中的应用或许是有限的

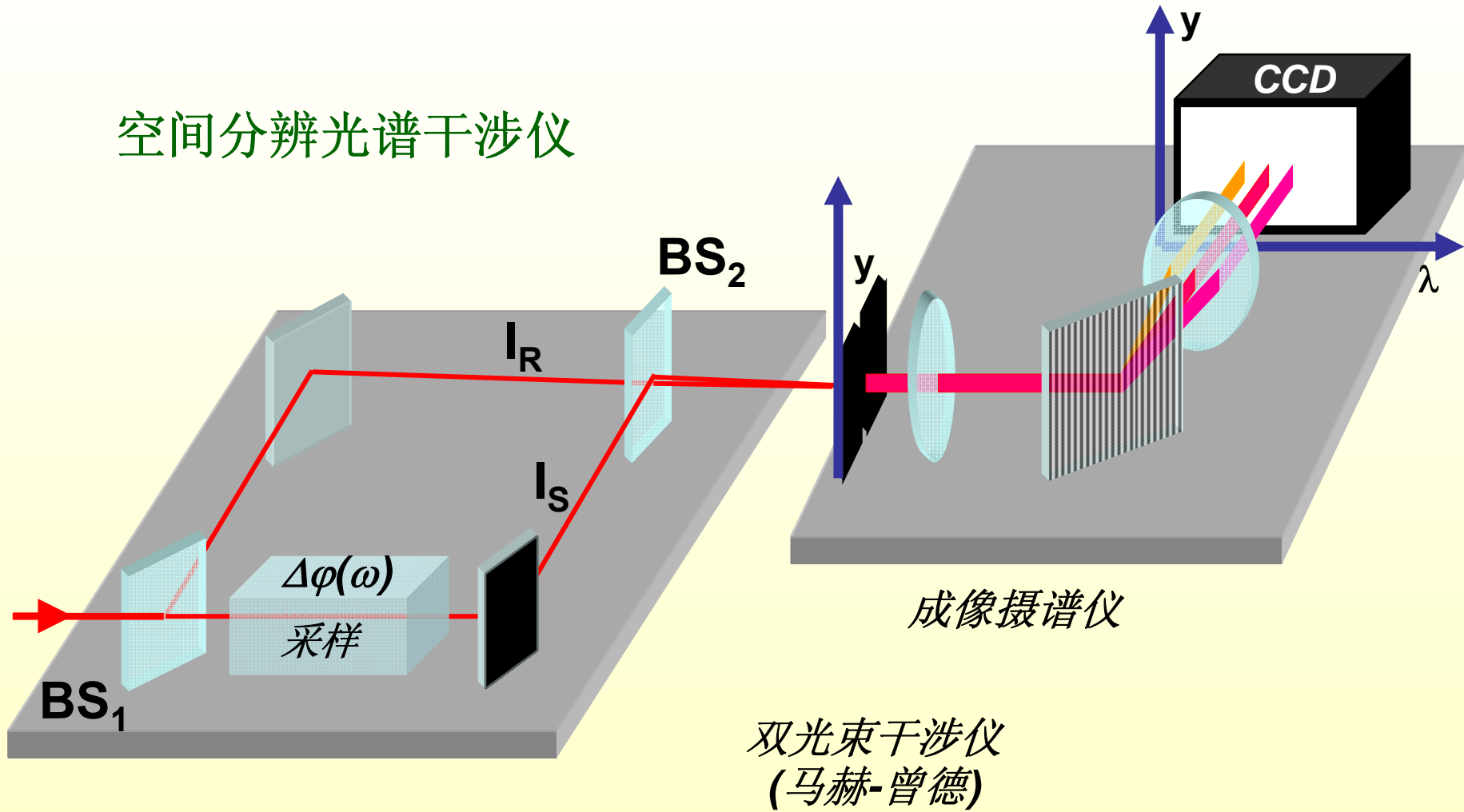


# 需要直接回答的问题

用于调整群延迟色散GDD和三阶色散TOD的  
可编程声光色散滤波器(Dazzler)的  
精度至少可以是多少?  
衍射光束的有残留角色散吗?

# 空间分辨光谱干涉技术

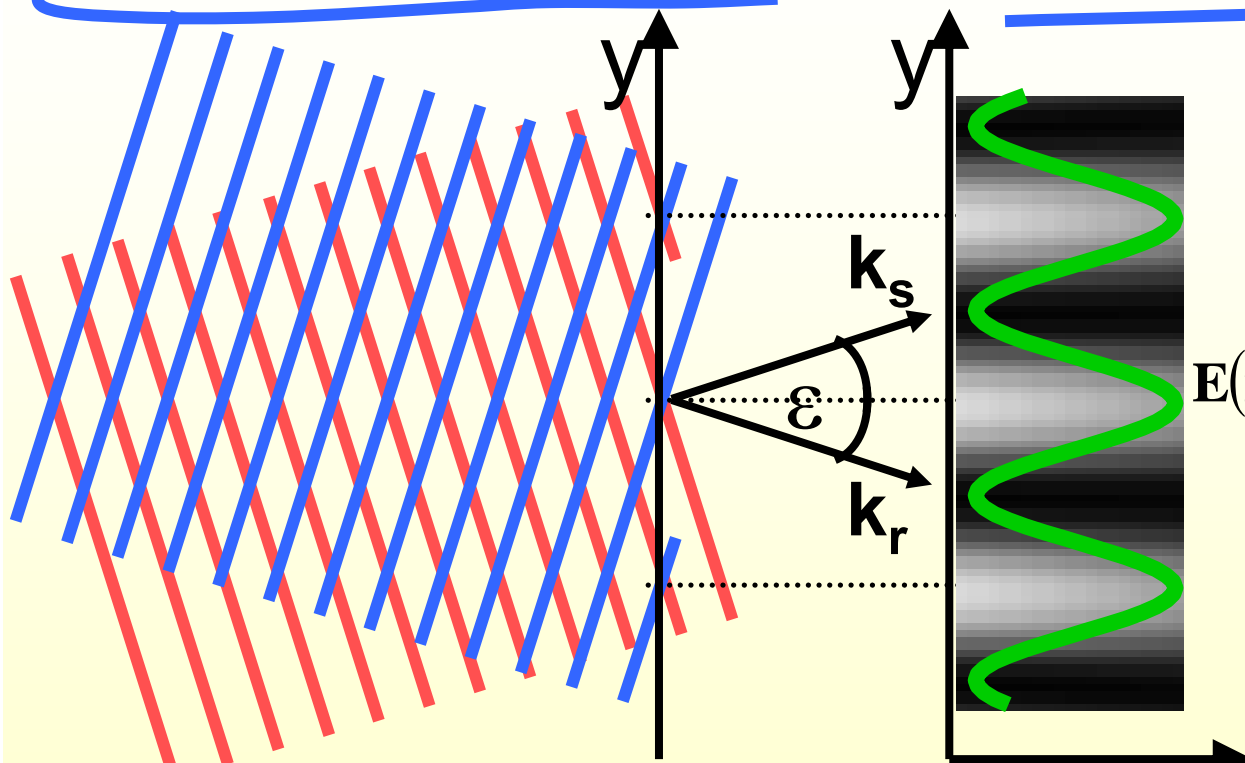
空间分辨光谱干涉仪



# 空间分辨光谱干涉条纹公式

参考光束:

$$\mathbf{E}_r(\mathbf{r}, t, \omega) \propto \sqrt{I_r(\omega)} \exp(i\omega t + \mathbf{k}_r \cdot \mathbf{r} + \varphi_r(\omega))$$



干涉光束:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t, \omega) \propto \mathbf{E}_r(\mathbf{r}, t, \omega) + \mathbf{E}_s(\mathbf{r}, t, \omega)$$

采样光束:

$$\mathbf{E}_s(\mathbf{r}, t, \omega) \propto \sqrt{I_s(\omega)} \exp(i\omega t + \mathbf{k}_s \cdot \mathbf{r} + \varphi_s(\omega))$$

强度

$$I(y, \omega) = I_r(y, \omega) + I_s(y, \omega) + 2\sqrt{I_r(y, \omega) \cdot I_s(y, \omega)} \cos\left(\frac{\omega}{c} \epsilon y + \Delta\varphi(\omega)\right)$$

# 空间分辨光谱干涉技术来测量相对光谱相位...

... 介于参考和采样脉冲之间

$$\Delta\varphi(\omega) = \varphi_R(\omega) - \varphi_S(\omega) =$$

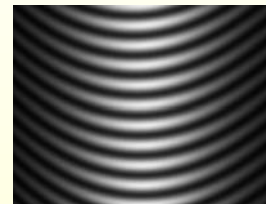
$$= \Delta\varphi(\omega_0) + \frac{d\Delta\varphi}{d\omega}(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \frac{d^2\Delta\varphi}{d\omega^2}(\omega - \omega_0)^2 + \frac{1}{6} \frac{d^3\Delta\varphi}{d\omega^3}(\omega - \omega_0)^3 + \dots$$

$\varphi_R(\omega_0) - \varphi_S(\omega_0)$   
相对于 **CEP**

**GD < 0**



**GDD > 0**



**TOD < 0**



## 光学材料和啁啾镜的色散

Bor et al., *Opt.Comm.* **78** (1990) 109

Calatroni et al., *Opt.Comm.* **157** (1998) 202

Osvay et al., *Appl.Phys.B* **87** (2007) 457

Börzsönyi et al., *Appl.Opt.* **47** (2008) 4856

Kovács et al., *OL* **20** (1995) 788

## 脉冲持续时间的测量

Meshulach et al., *JOSA B* **14** (1997) 2095

Parys et al., *J.Opt.A* **7** (2005) 249

Bowlan et al., *OE* **14** (2006) 11892

## 啁啾脉冲放大CPA系统的色散管理

Kovács et al., *App.Phys. B* **80** (2005) 165

Osvay et al., *Appl. Phys. B* **89** (2007) 565

## 非线性处理

Durfee et al., *CLEO 2009, CThDD5*

Osvay et al., *CLEO 2009, CMu7*

## 全线性CEP 偏移的确定

Osvay et al., *OL* **32** (2007) 3095

Görbe et al., *Appl.Phys.B* **95** (2009) 273



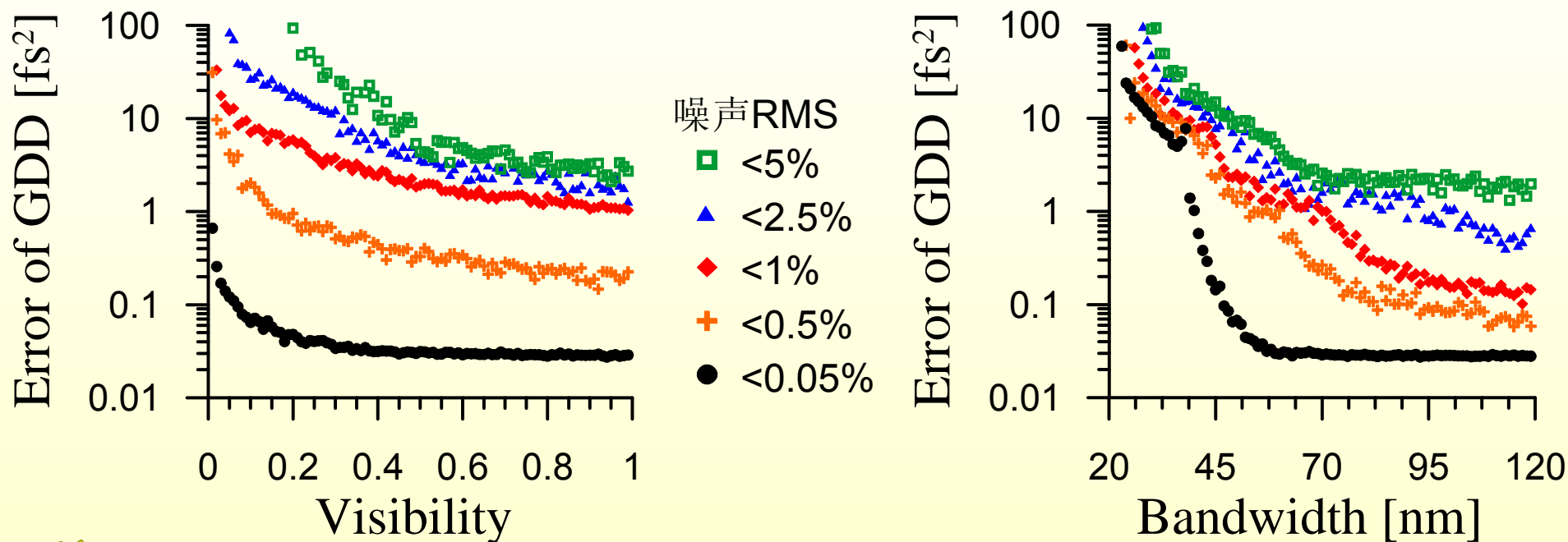
# 空间分辨光谱干涉技术的精度和分析

群延迟色散GDD的误差与..

... 可见条纹

... 脉冲宽度

... 各种大小的噪声

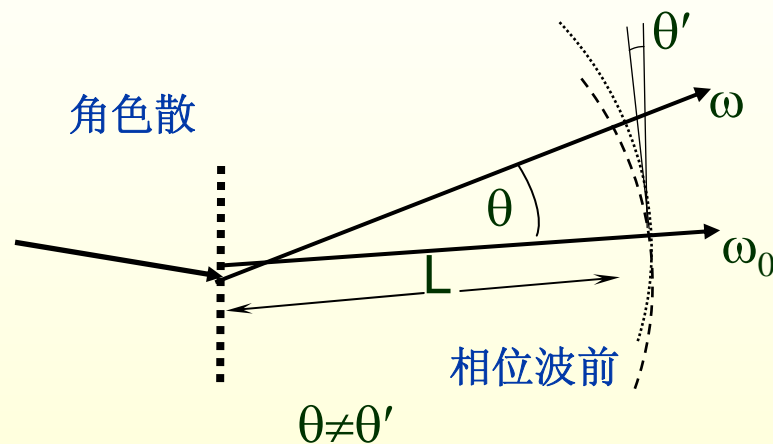
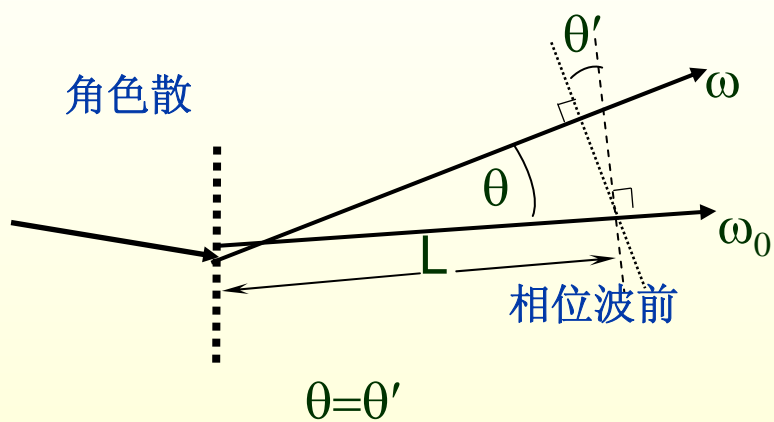


群延迟色散GDD精度 <math><1\%</math>，三阶色散TOD精度 <math><3\%</math>，对于低噪声传感器和脉冲，宽度 >math>50\text{nm}</math>。

# 角色散的定义

传播方向

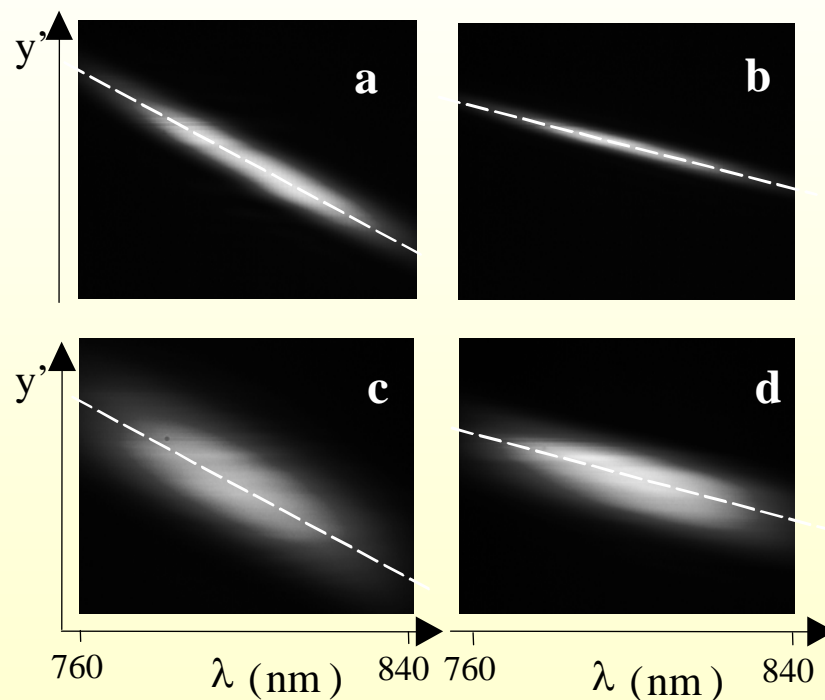
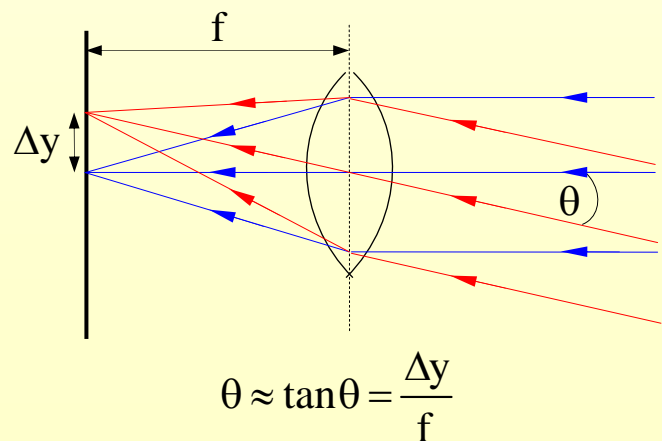
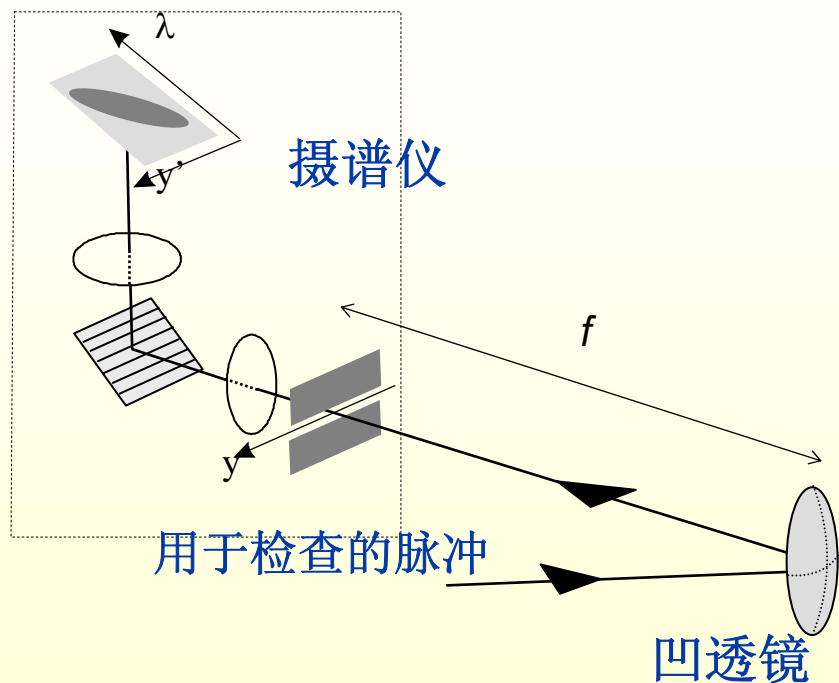
相位波前



平面波

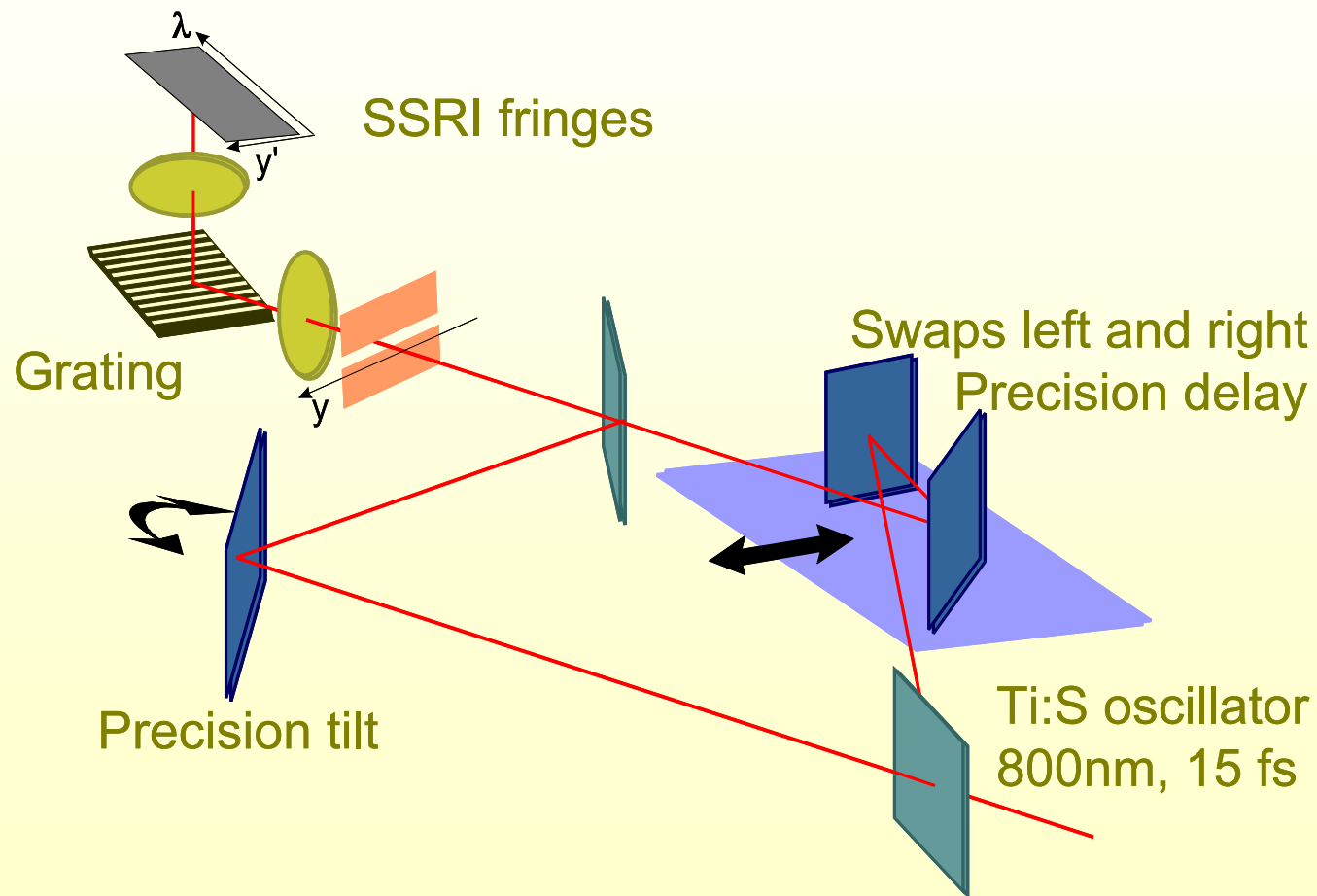
球形(高斯)光束

# 角色散传播方向的测量



# 相前角色散的测量

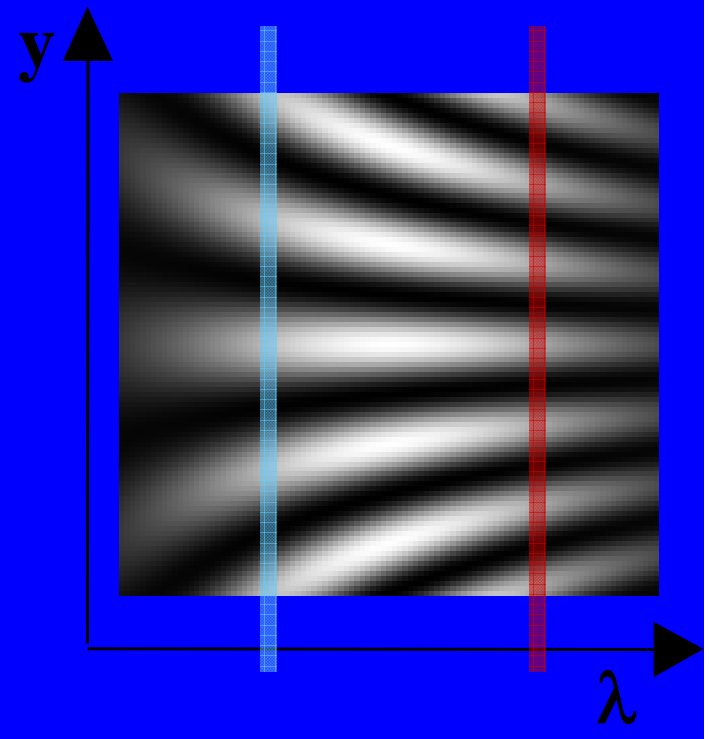
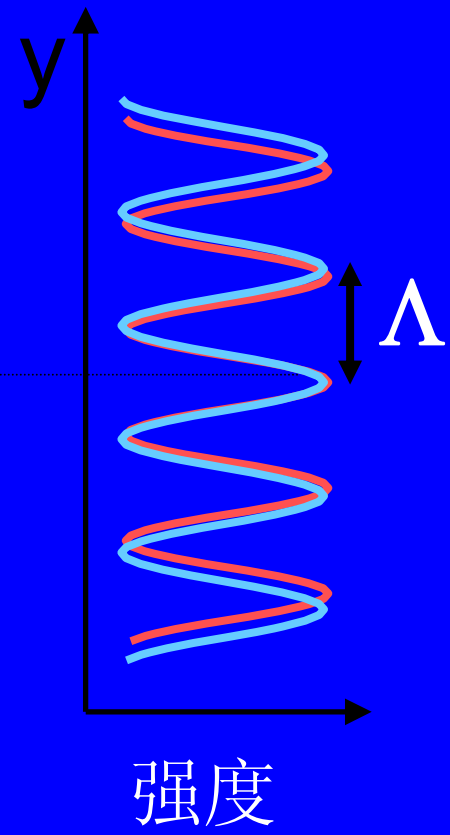
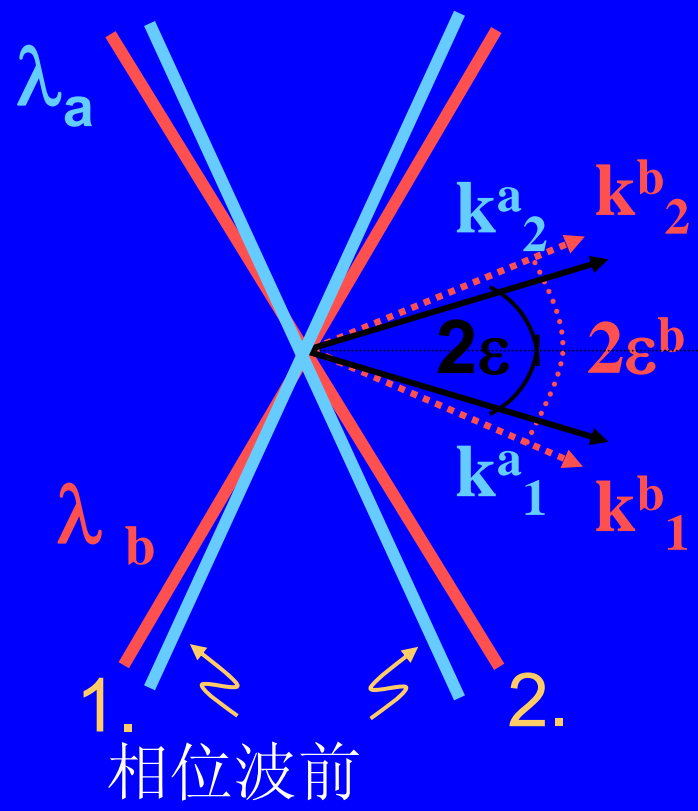
## 反转光束马赫-曾德干涉仪



# 干涉条纹的形式

## 包含角色散的多色波

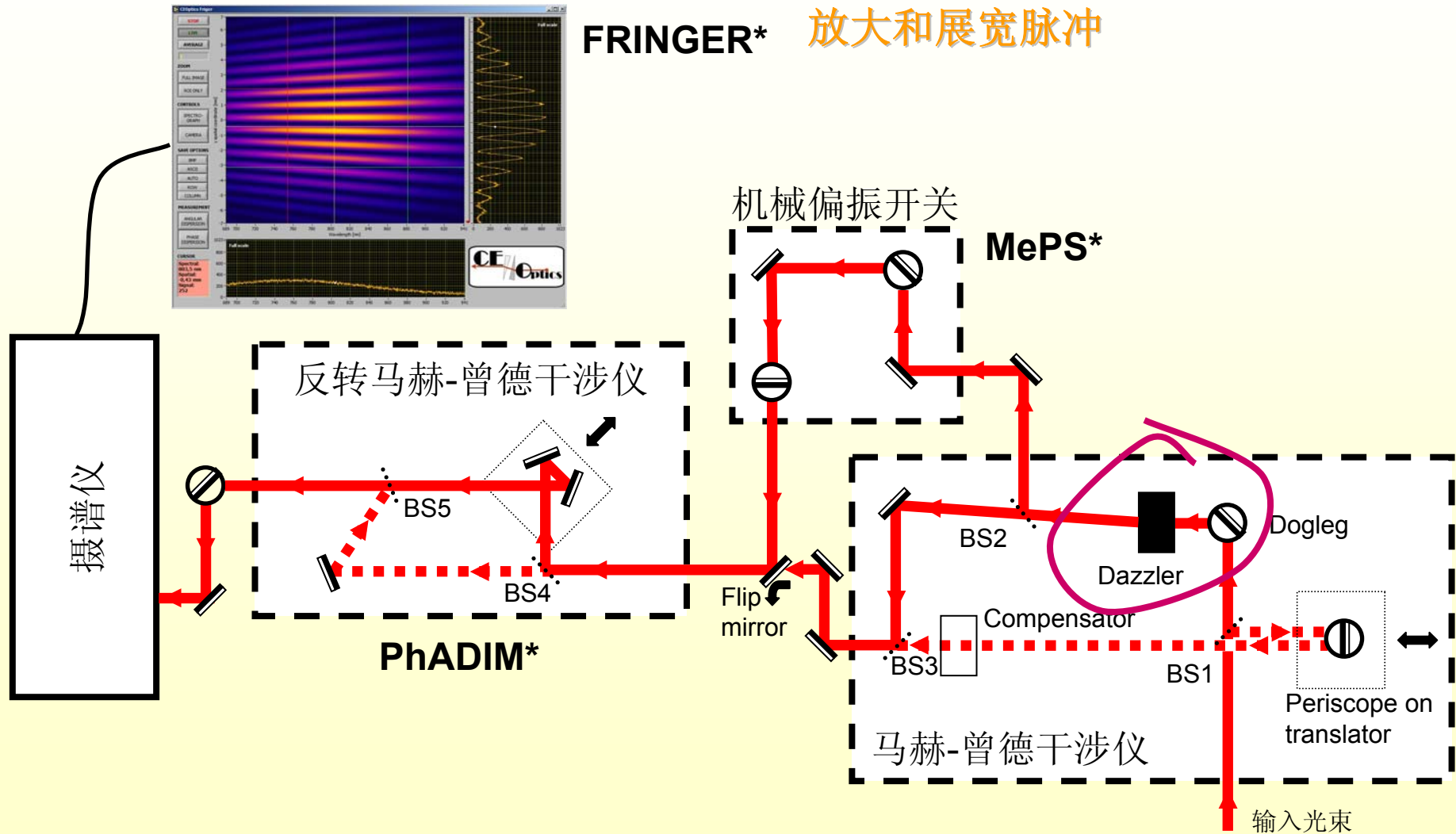
$$\frac{\lambda}{2\Lambda} = \varepsilon = \varepsilon(\lambda)$$



# 系统的设置

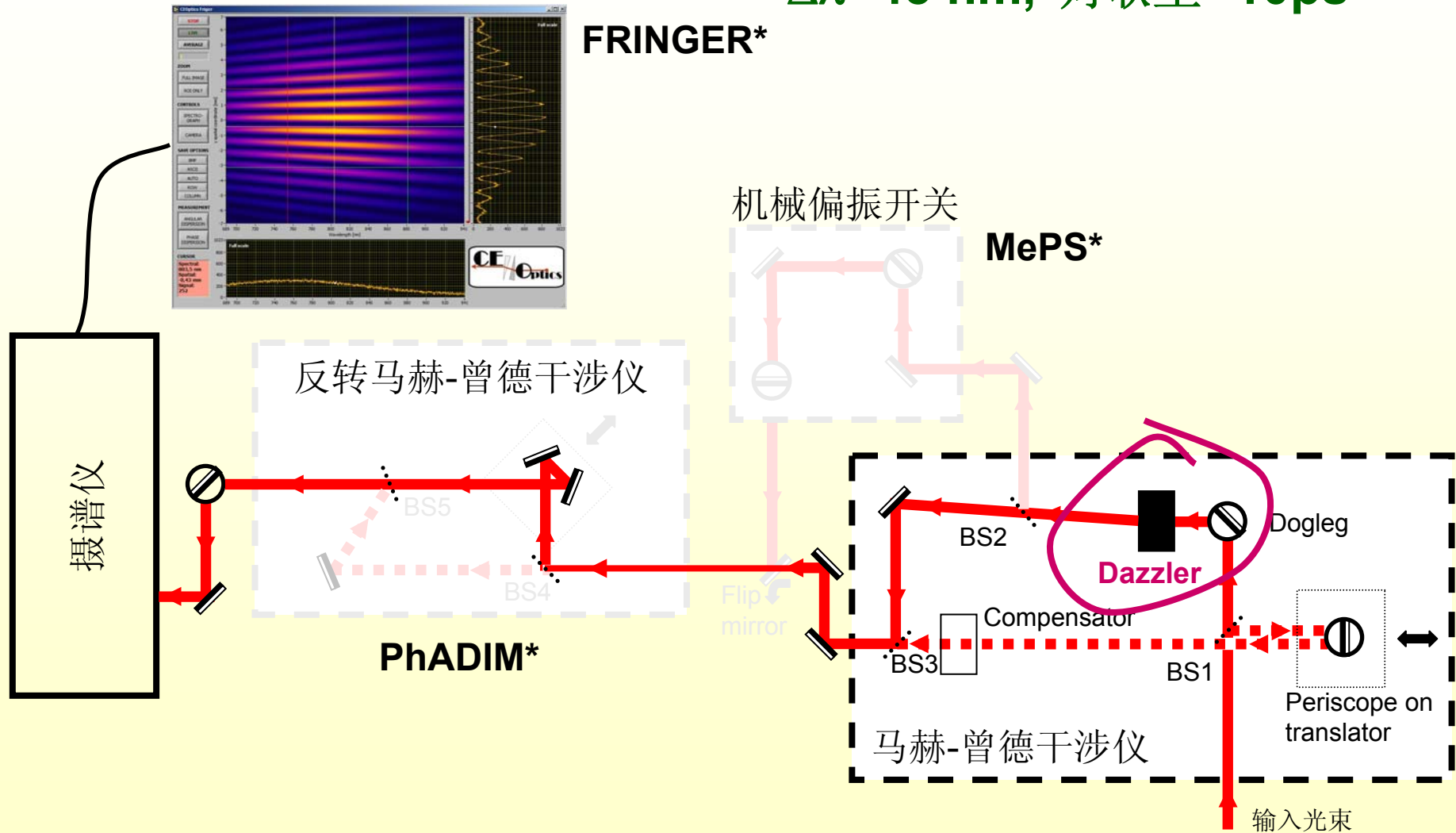
光源: CPA 前端

振荡器脉冲  
展宽脉冲  
放大和展宽脉冲



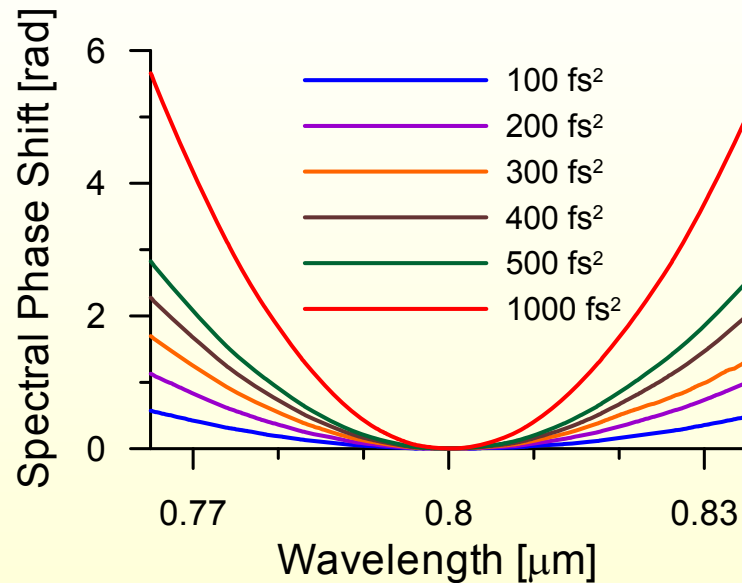
# DAZZLER装置的光谱相位

CPA激光系统的前端: 10Hz, 1 mJ,  $\lambda_0 = 800$  nm,  
 $\Delta\lambda = 45$  nm, 啾啾至 -10ps



# 群延迟色散 (GDD)

光谱相位



GDD [fs<sup>2</sup>]

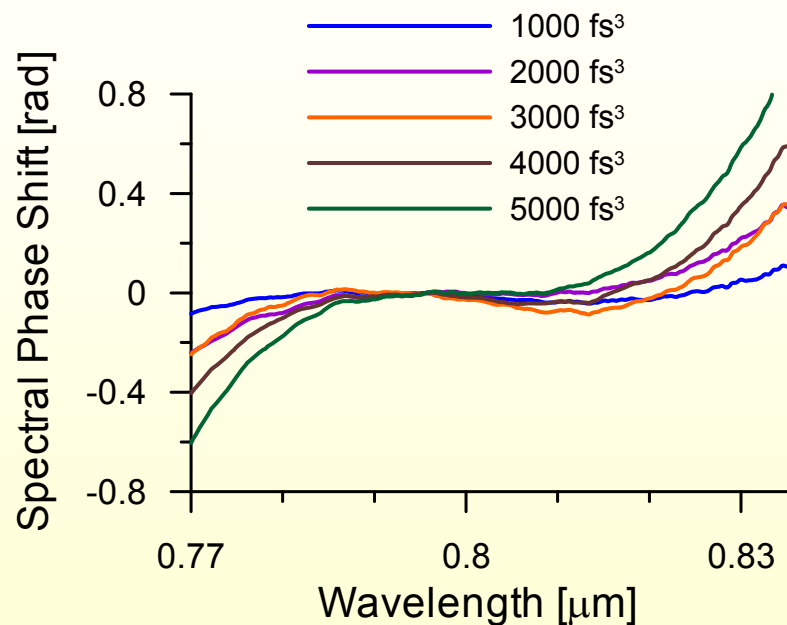
设定值	测量值
1	0.29
2	1.95
3	2.33
4	3.60
5	4.98
10	9.17
20	19.85
30	29.40
40	40.89
50	50.49
100	100.05
200	201.74
300	302.55
400	403.97
500	505.92
1000	1011.9

使用 Dazzler 装置 (3.4%) 的 GDD 精度  
<1fs<sup>2</sup> (1-100fs<sup>2</sup>时), 低于 1% (>100fs<sup>2</sup>时)



# 三阶色散 (TOD)

光谱相位



TOD [ $\text{fs}^3$ ]

设定值      测量值

1000	1025.1
2000	2032.1
3000	3143.9
4000	4100.3
5000	5008.6
10000	9961.0
20000	20572
30000	32053
40000	41447

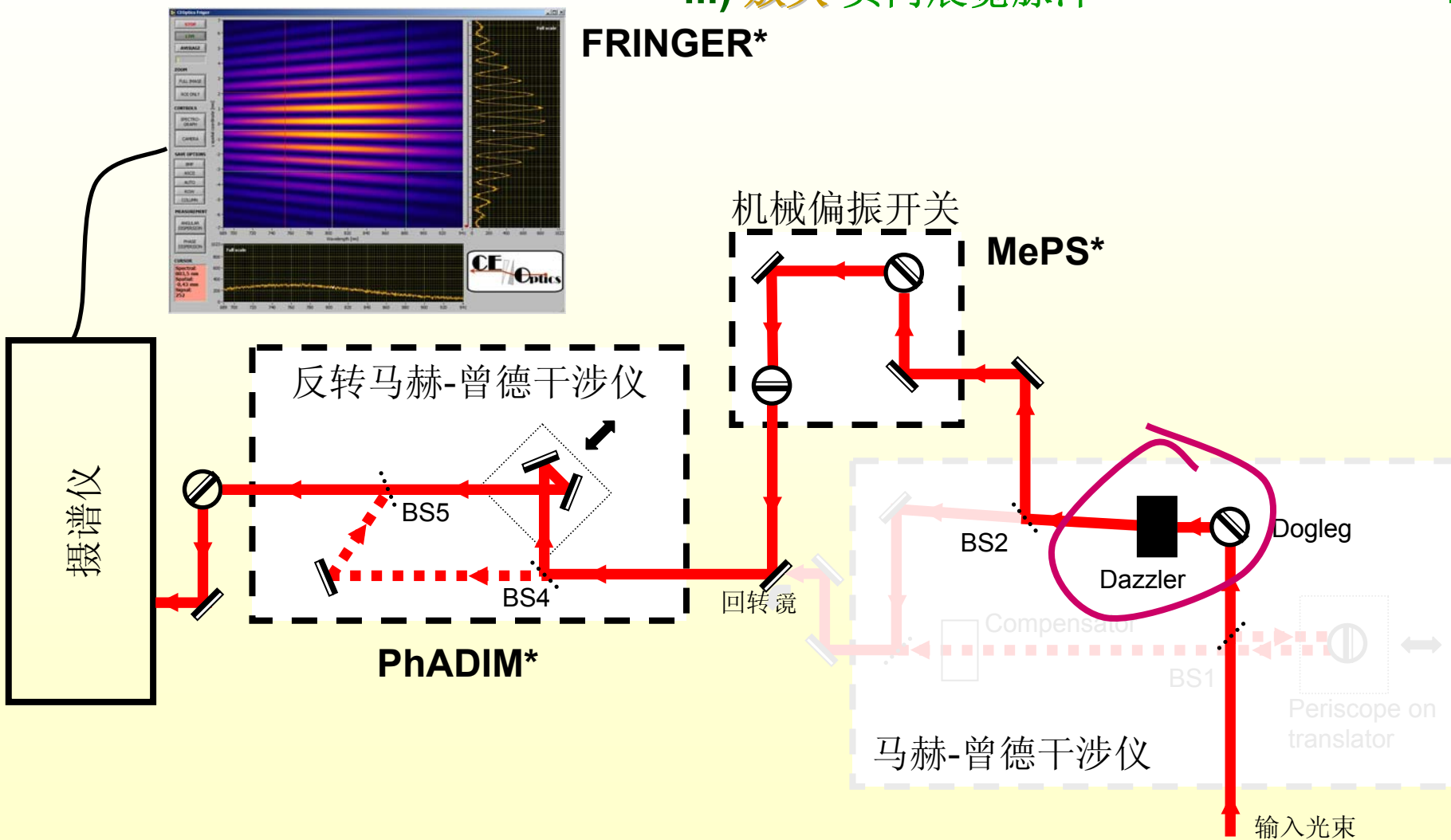
使用 **Dazzler**装置 (3.4%)的TOD精度  
受测量误差(2.5%)的限制, 最高 **20000 $\text{fs}^3$** .

# DAZZLER装置的相前角色散

i) 振荡器: 70.5 MHz,  $\lambda_0 = 800$  nm,  $\Delta\lambda = 80$  nm

ii) 振荡器脉冲 负向展宽到 10ps.

iii) 放大负向展宽脉冲



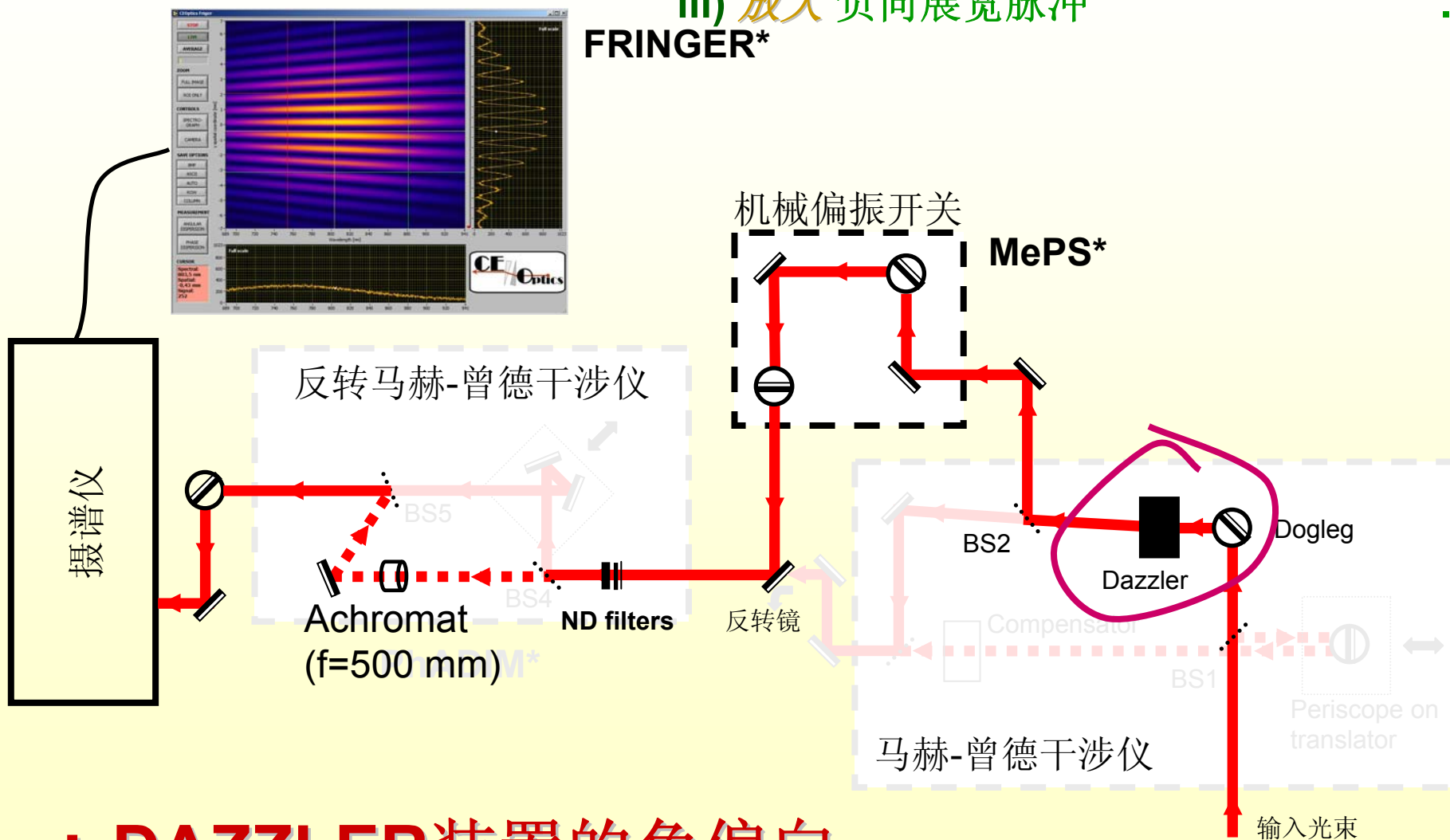
# DAZZLER装置角色散的传播

i) 振荡器: 70.5 MHz,  $\lambda_0 = 800$  nm,  $\Delta\lambda = 80$  nm

ii) 振荡器脉冲 负向展宽到 10ps.

iii) 放大负向展宽脉冲

FRINGER\*



+ DAZZLER装置的角偏向

# 角的影响 I: 常规发现

... 测试两个 Dazzler装置 (b. 2003 & 2008)

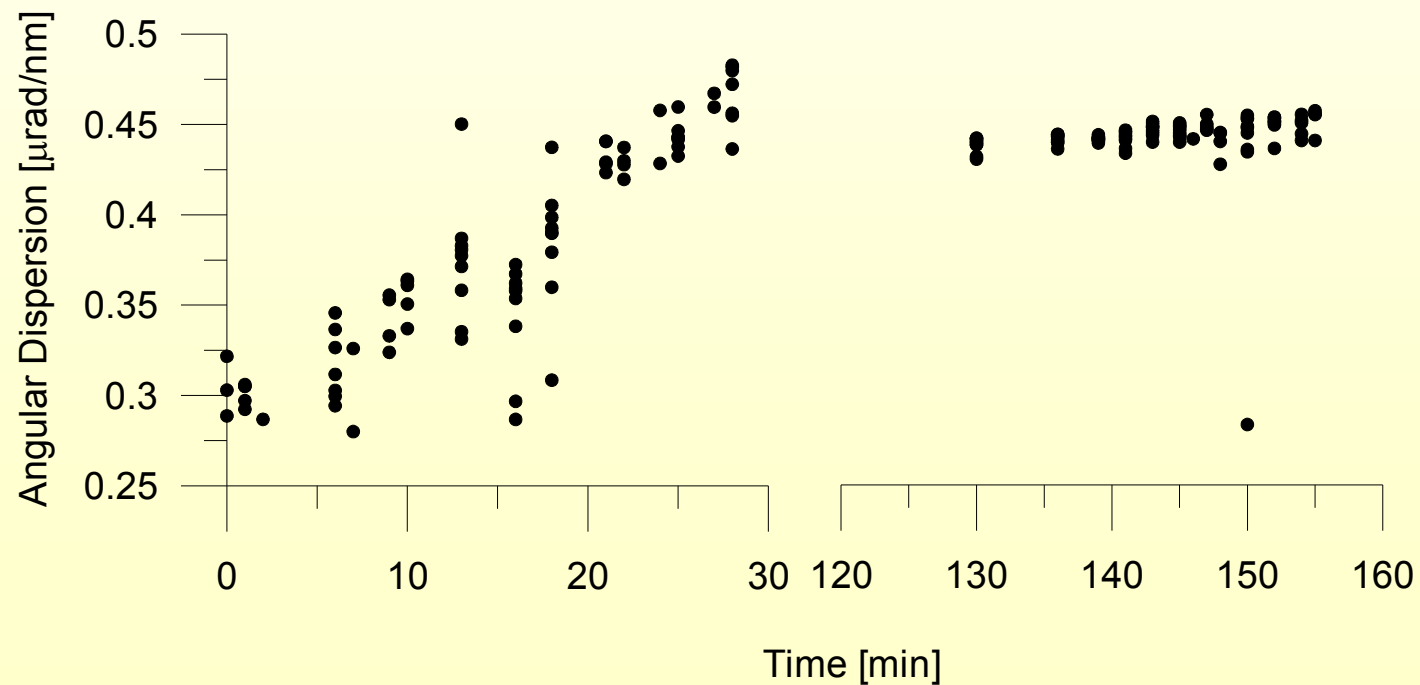
传播方向 **a.d.** = 相位波前 **a.d.**

角色散没有改变

-对于声音的能量 – 在**GDD & TOD**设置给定的情况

-对于孔的位置和宽度

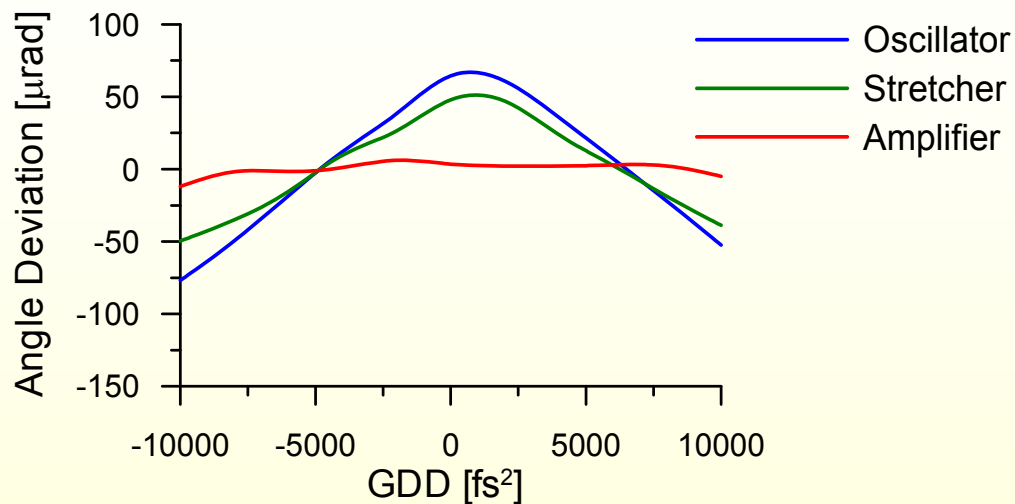
取决于预热时间



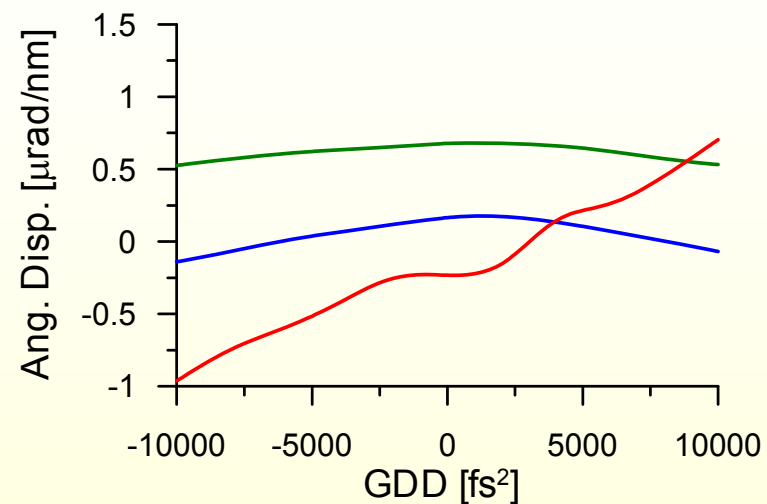
# 角的影响 II: *GDD*调谐

## 衍射平面 (水平方向)

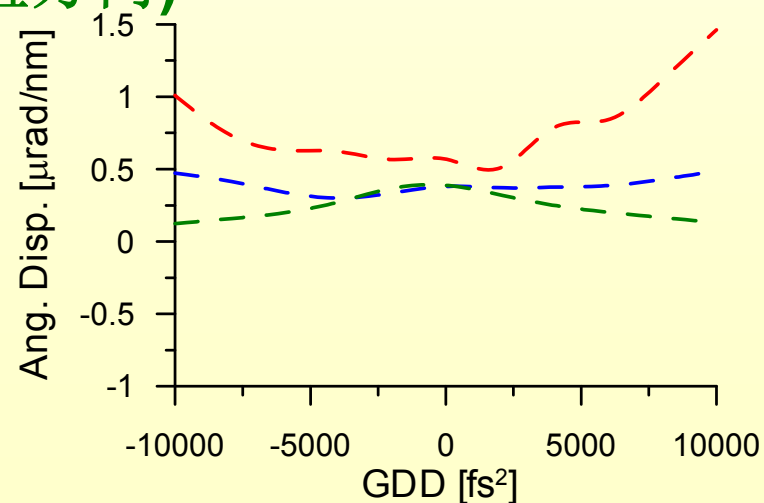
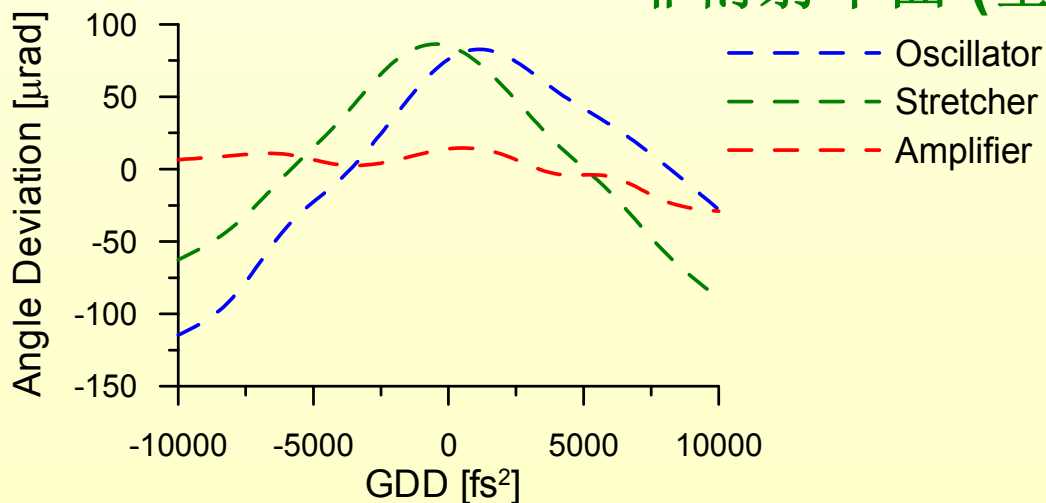
### 角偏向



### 角色散



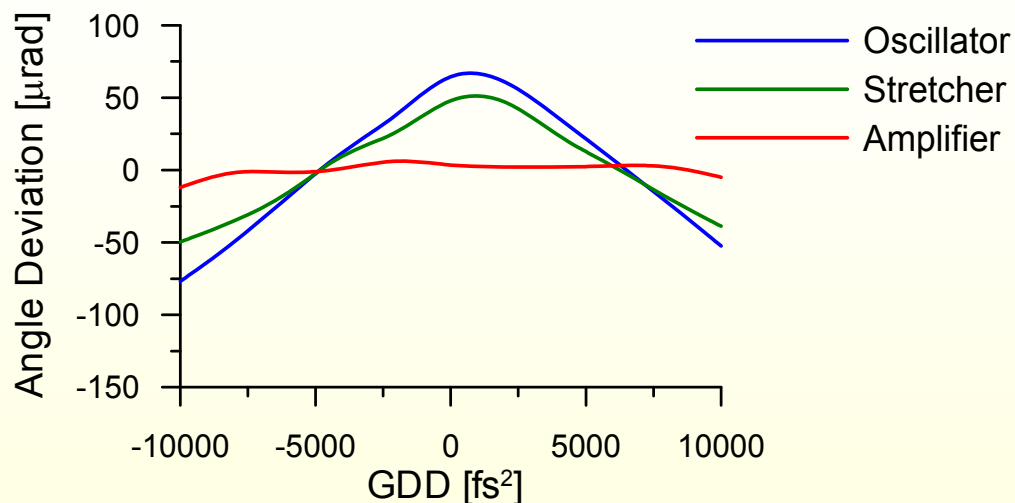
## 非衍射平面 (垂直方向)



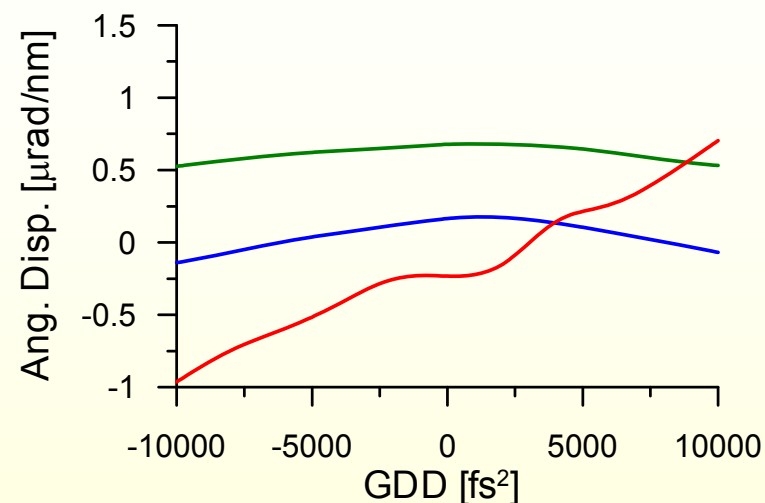
# 角的影响 II: *GDD*调谐

## 必要的说明

角偏差



角色散



振荡器和 **cw**光束: **Dazzler**装置处于**cw**状态  
放大器光束: **Dazzler**装置处于脉冲状态 (10Hz)

**CW**光束的热效应  
(**GDD** – 消耗功率)

放大光束的非线性影响  
(包括  $n_2$  – 梯度系数)

# 结论

- 采用空间分辨光谱干涉技术 **SSRI**来测量两个**Dazzler**装置的光谱相移、角偏差和角色散.
- **GDD**和**TOD**的精度分别优于 **1%** 和**3.4 %**.
- 角偏差和角色散:  
*随 GDD在cw模式下的设定而改变 – 热效应在脉冲模式下不受影响.*
- 角色散: 小的净色散,  
*对于多数激光系统可以忽略不计.*
- 脉冲强度在 **Dazzler**装置上受限制:  
使用预置放大器.

致谢:

