

全光缓存器的概念、问题与研究进展

北京交通大学 理学院
光信息科学与技术研究所
吴重庆

2008, 8

目录

- 1. 引言——慢光与光缓存器的研究热潮
 - 2. 缓存器的关键技术
 - 3. 光纤型全光缓存器
 - 4. 慢光的作用
 - 5. 结束语
-

1. 引言——慢光与光缓存器的研究热潮

- 1.1 光通信面临的问题与全光交换
 - 1.2 全光缓存器的概念
 - 1.3 慢光的发现激起了对于缓存器研究的热潮
-

1.1 光通信面临的问题与全光交换

(1) 为什么要发展全光网?

□ 1. 传输和交换

□ 传输： 单波160Gb/s, WDM:Tb/s

□ 交换： 并行VC-4, 150.912Mb/s, 发展Tb/s交换

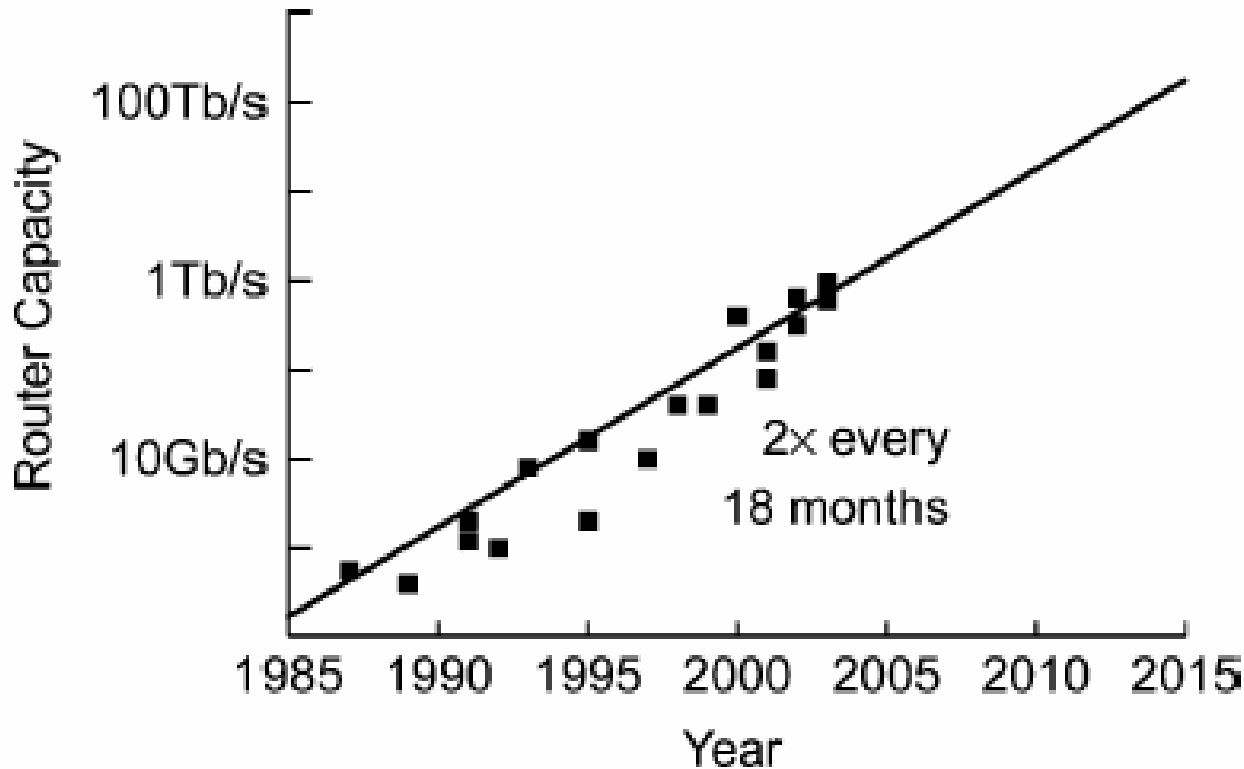
□ 路由器： 包处理速度： 数十us

□ 缓存器容量： 排队延时

□ 2. 直达路由： 3000km, 节点跨距50km

□ 3. 接口： 每个端口需要多次的E/O/E转换,

100 Tb/s capacity by 2012



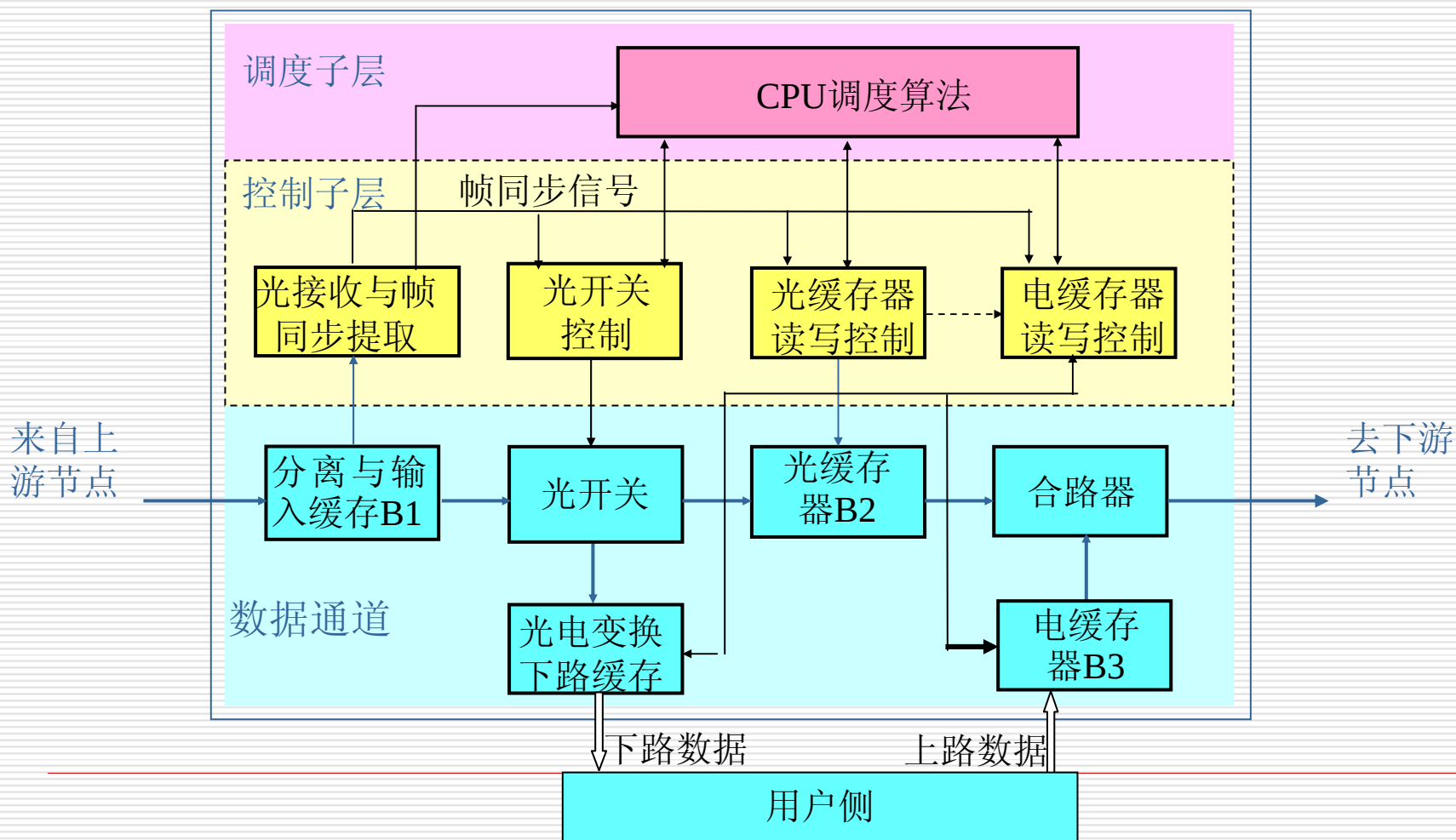
(2) 全光交换分类

- WDM光传送网
 - 交换网：**交换技术是关键**
 - (1) 波长交换——波长组交换
 - (2) 分组交换
 - 突发交换 (OBS)
 - 标记交换 (OLS)
 - 分组交换 (OPS)
 - (3) 比特交换
-

各种全光网比较

分类	信息单元	交换方式	连接	光缓存
WDM光传送网 (OTN)	波长	不交换	面向连接	不需要
自动交换光网络 (ASON)	波长	波长交换	面向连接	不需要
光突发交换 (OBS)	分组（大）	重组、预留路由、不交换	面向连接	不需要
光标记交换 (OLS)	分组（可大可小）	重组、分组交换	无需连接	前向缓存
光分组交换 (OPS)	分组（可大可小）	重组、分组交换	无需连接	随机缓存

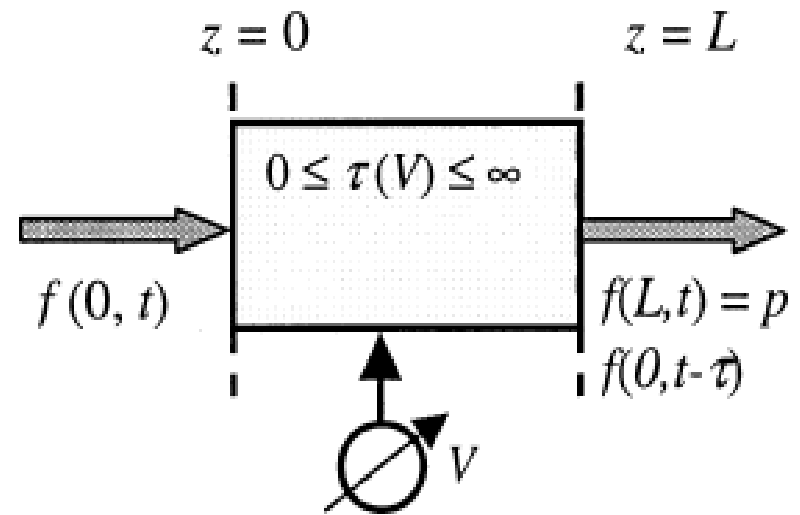
节点结构（分层）



1.2 全光缓存器的概念

□ 一个无需进行光电变换的光输入和光输出数据流的器件。

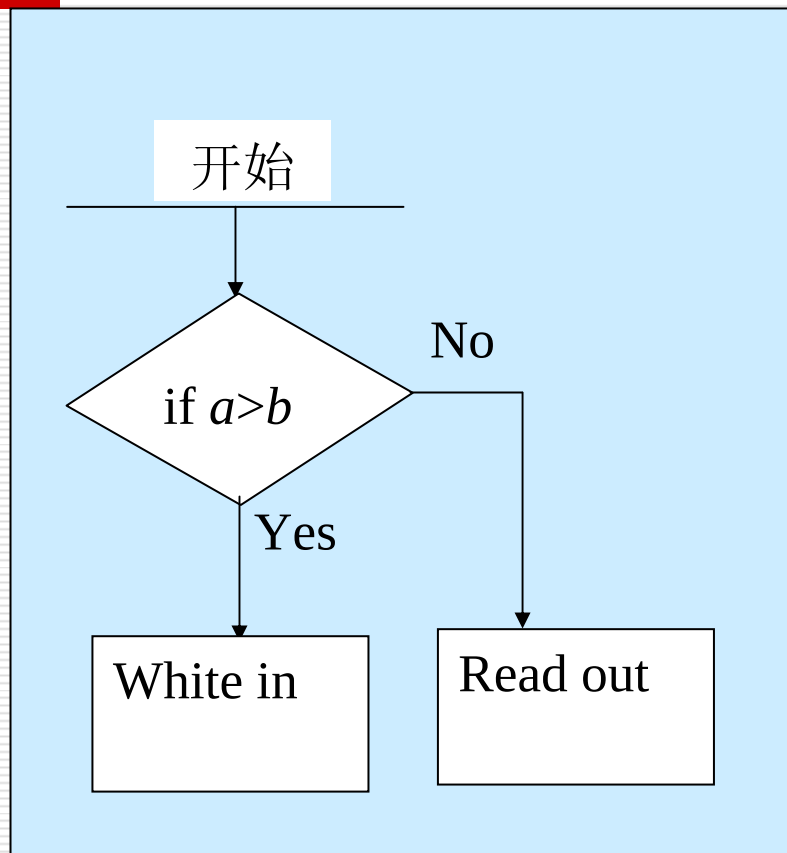
□ 输出数据流应该是输入数据流的拷贝，在一定的失真和损伤的范围内缓存一定的时间。



$$f_{out}(t) \approx f_{in}(t - \tau)$$

1.2 全光缓存器的概念

- 缓存器的写入与读出（以及缓存时间）应该是在外部光信号控制下可随机变动的。
- 缓存时间事先预置：
可调时间延迟器
- 缓存时间由事件触发：
真正意义的缓存器



制作光缓存器的两个思路

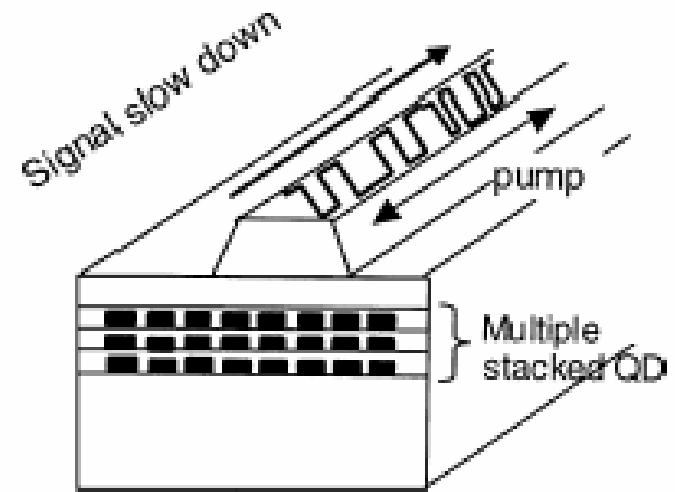
- 由于光脉冲的缓存时间 $\tau = L / v_g$
- (1) 增加传输距离
- (2) 降低群速度
- (3) 要满足可控制的要求

1.3 慢光的发现激起了对于缓存器研究的热潮

- 1999, L.V. Hau 17m/s
- 2001, Kocharovskaya和Khanin ~ 0
- 2003, Chang-Hasnan 可以降低7个数量级
- 2005, Yoshitomo, 利用受激布里渊散射, 25ns
- 2007, Zhaoming Zhu, 耗尽型的SBS慢光存储, 4~12ns

2003, Chang-Hasnan

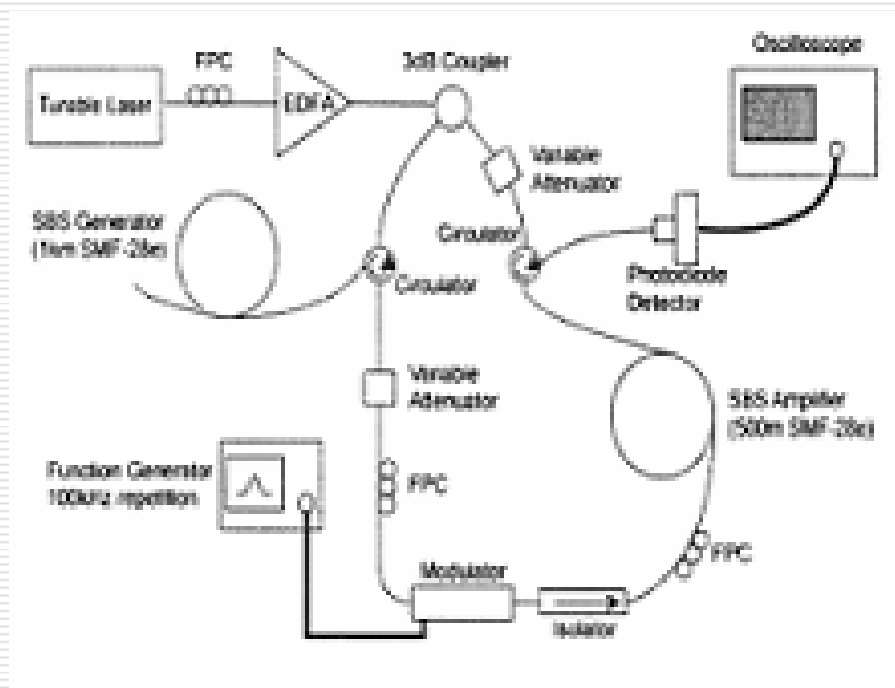
□ 可以降低7个数量级



C. J. Chang-Hasnain, et al, Variable optical buffer using slow light in semiconductor nanostructure, Proceedings of IEEE, Vol. 91, No. 11, 1884-1896, 2003.

2005, Yoshitomo

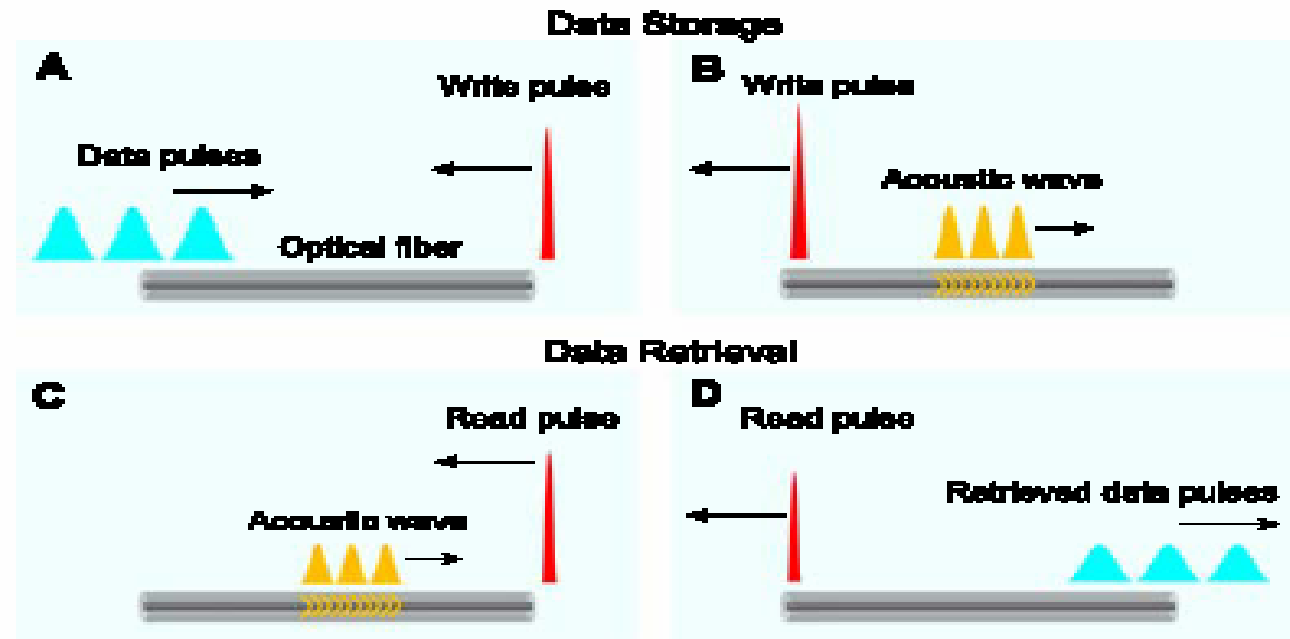
□ 利用受激布里渊散射，25ns



Yoshitomo Okawach, Tunable all-optical delays via Brillouin slow light in an optical fiber. CLEO, 2005, 511-513

2007, Zhaoming Zhu

- ❑ 耗尽型的SBS慢光存储，4~12ns
- ❑ 超强泵浦光脉冲（峰值功率100W）



目录

- 1. 引言——慢光与光缓存器的研究热潮
 - 2. 缓存器的关键技术
 - 3. 光纤型全光缓存器
 - 4. 慢光的作用
 - 5. 结束语
-

2. 缓存器的关键技术

- ① 缓存时间和动态范围:
 - ② 缓存容量与存储深度:
 - ③ 缓存数据的速率 (b/s) 和带宽:
 - ④ 读写速度:
 - ⑤ 多级缓存的无缝连接问题
 - ⑥ 其他
-

① 缓存时间和动态范围

- ❑ 缓存器主要是用于解决光分组交换的竞争，因此对缓存时间要求主要取决于数据包头处理的时间，
 - ❑ ms量级就足够了；
 - ❑ 动态范围主要取决于数据包队列的排队情况，一般在0~9999T范围内。
-

② 缓存容量与存储深度

- 缓存容量：目前数据包都是变长度的。
 - 以IP包和以太网的包为例，大约在几个字节到几十KB不等。
 - 存储体的总时间值是确定的，当速率提高时，缓存容量可能增大；
 - 存储深度：存储体的利用率
 - 以光纤为例，如果光纤长1km，最多能缓存的数据包的总时间是5 μ s。
 - 实际能够存储的数据包时间都要小于这个值，比如缓存数据包的最大时间值为4 μ s，则缓存深度只有80%；
-

③缓存数据的速率（b/s）和带宽

- ❑ 色散限制：所有的存储体都存在群速度色散，
 - ❑ 带宽限制：因此对于同样的缓存时间值，缓存容量将受到速率的限制。
 - ❑ 带宽时间乘积
-

④读写速度

- ❑ 指将一个数据包写入缓存器的时间和读出缓存器的时间。
 - ❑ 由于存储深度都达不到100%，所以当读指令到达缓存器时，数据包都要“空转”一段时间后才会读出。
 - ❑ 缓存容量越大，它的读写速度越低；
-

⑤ 多级缓存的无缝连接问题

- 很多方案都采用了多级缓存技术，因此各级缓存数据包之间的无缝连接就成为一个问题。
 - 鉴于目前开关速度比不上净负荷的速率，所以必须考虑各个存储单元的连接。
 - ⑥其他：多波长缓存的均衡、串扰等问题。
-

目录

- 1. 引言——慢光与光缓存器的研究热潮
 - 2. 缓存器的关键技术
 - 3. 光纤型全光缓存器
 - 4. 慢光的作用
 - 5. 结束语
-

3. 光纤型全光缓存器

- **3.1** 前向结构光纤延迟线
 - **3.2** 反馈型光纤缓存器
 - **(1)** 历史沿革
 - **(2)** **DLOB**
 - **(3)** 多波长缓存
-

3.1 前向结构光纤延迟线

- ❑ 不具备读写功能，不是真正意义的缓存器
 - ❑ 1991, Chlamtac, 交换延迟线
 - ❑ 2004, 美国乔治亚大学Yong-Kee Yeo, Jianjun Yu, 树状结构
 - ❑ 2005, 北理工杨爱英, 改进树状结构
 - ❑ 2006, 英布里斯托大学, 王卓人、迟楠, 有源垂直耦合器AVC
 - ❑ 2008, 北京交大, 王拥军, 多级DLOB
-

1991, Chlamtac, 交换延迟线

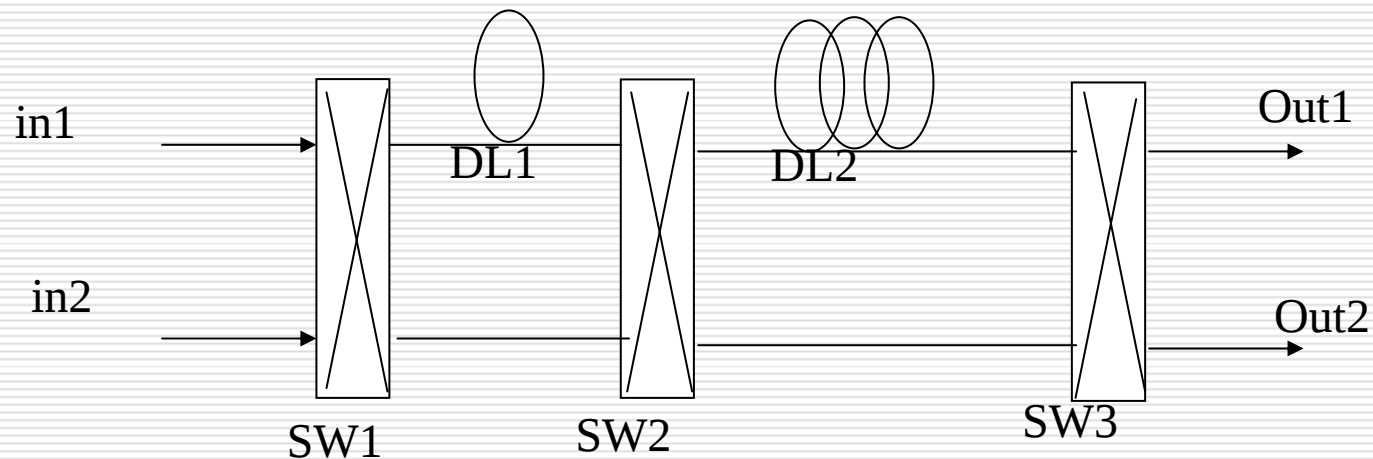
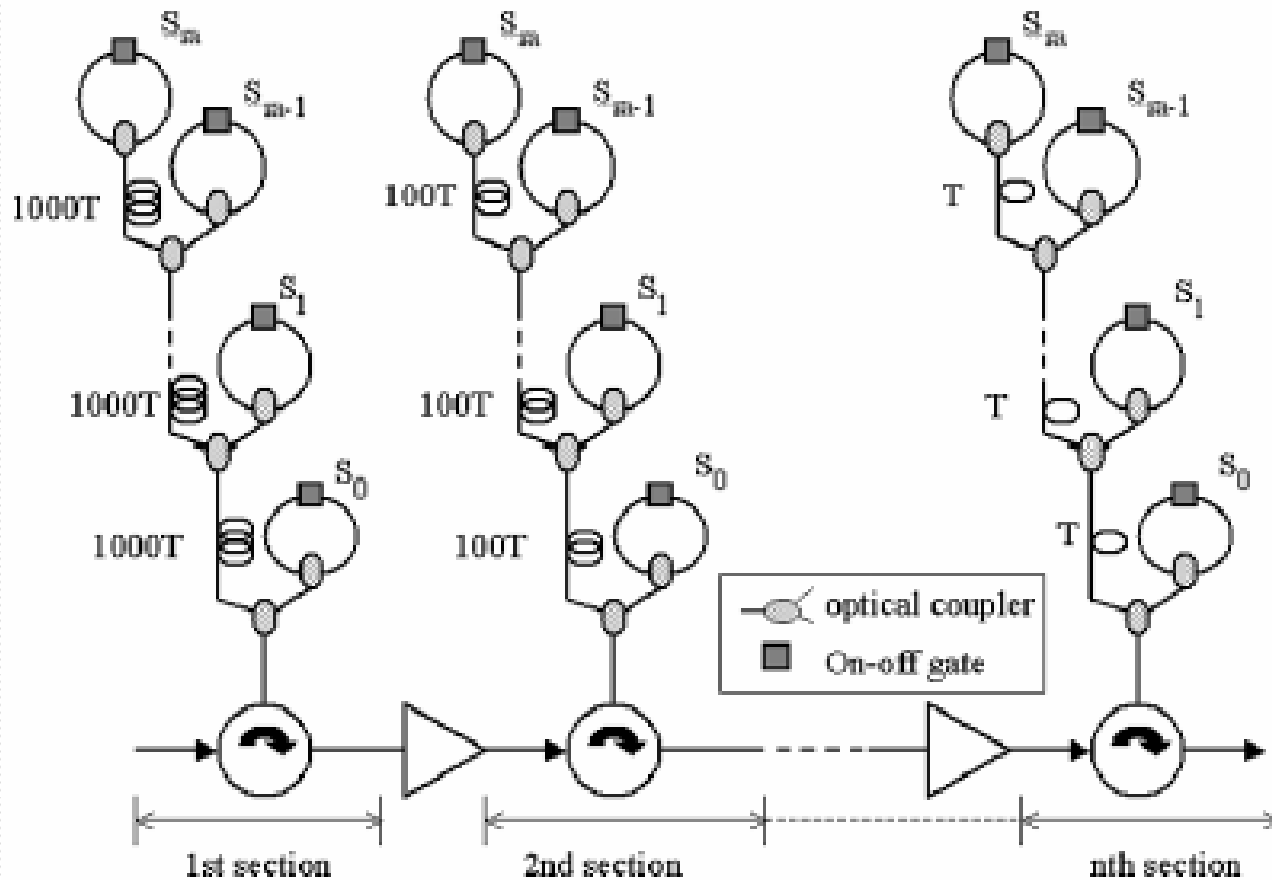


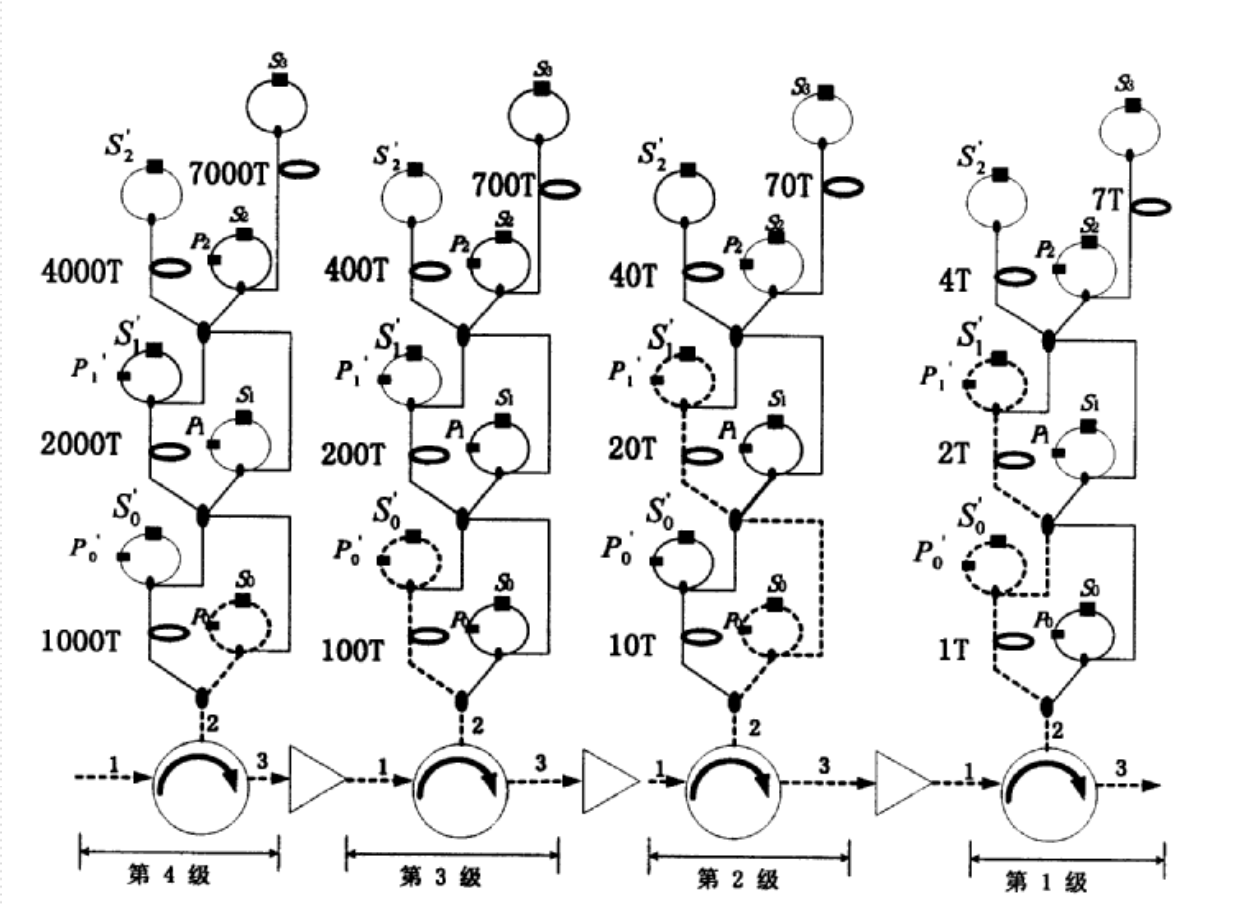
图1交换延迟线

Chlamtac, et al, QUADRO-Stars: High Performance Optical WDM Star Networks, GLOBECOM'91, pp1224.

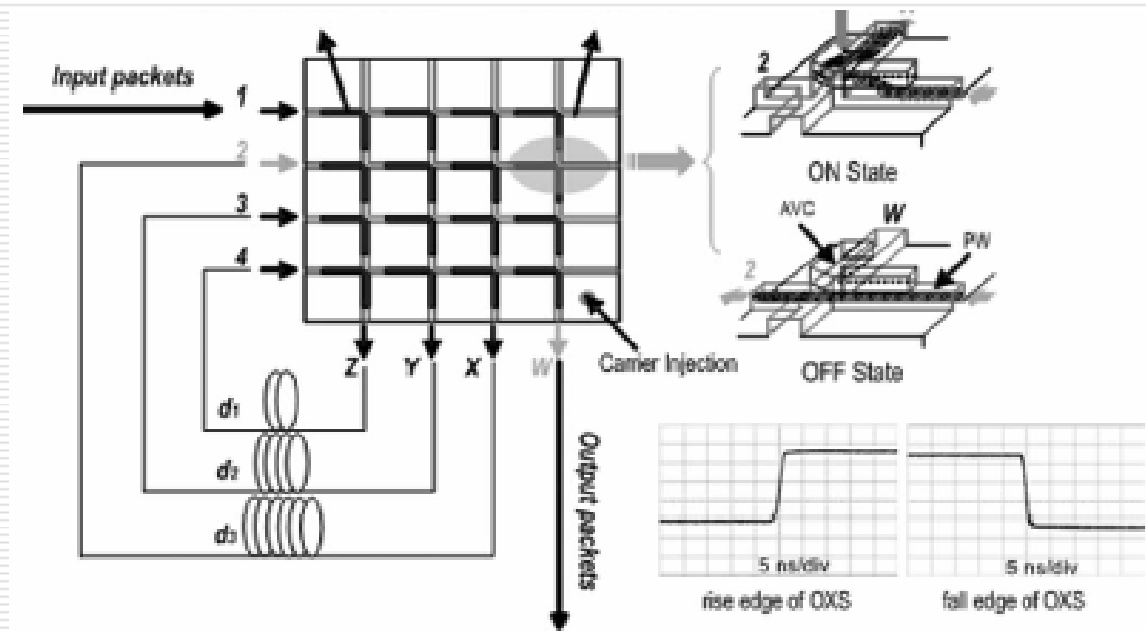
2004, 美国Yong-Kee Yeo, 余建军



Yong-Kee Yeo, Jianjun Yu, and Gee-Kung Chang, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 16, NO. 11, NOVEMBER 2004 2559



2006, 英 王卓人、迟楠,



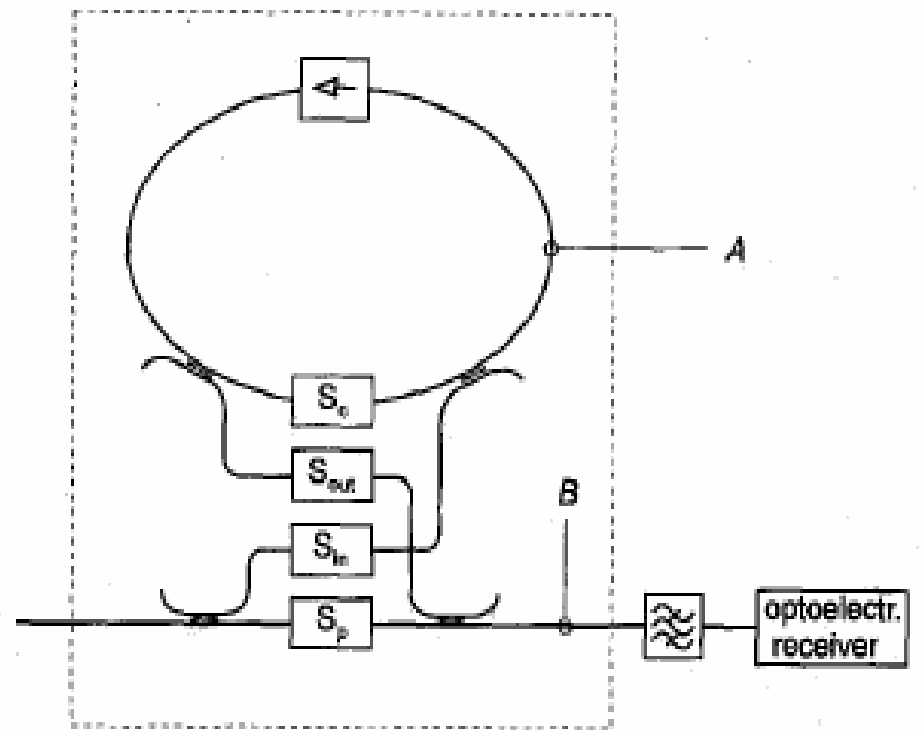
Zhuoran Wang, Nan Chi, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY,
VOL. 24, NO. 8, 2006, pp2994

3.2 反馈型光纤缓存器（1历史沿革）

- 1996, R. Langenhorst, 环路型方案
 - 1998, K.Hall, et al, 光耦合器输入、光耦合器输出
 - 1998, Y.Chai, et al, 采用光耦合器输入、光开关输出
 - 1998, A.J. Poustie, BT LAB, TOAD方案
 - 2001, A. Agarwal, 反射光纤（FP腔）+ 光开关的方案
 - 2004, 北京交通大学DLOB
-

1996, R. Langenhorst, 环路型方案

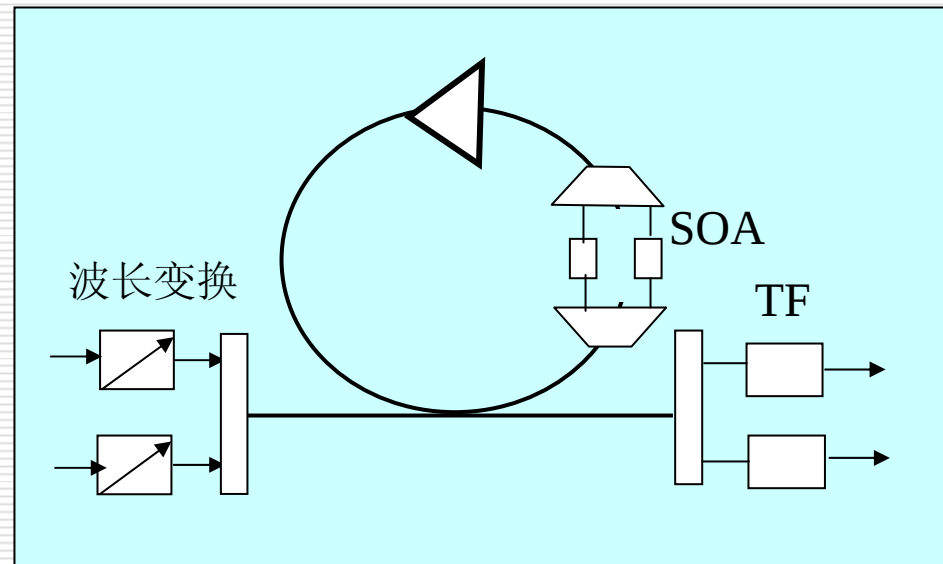
□ 关键是4个光开关



R. Langenhorst JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL 14, NO 3, MARCH 1996

1998, K.Hall, et al,

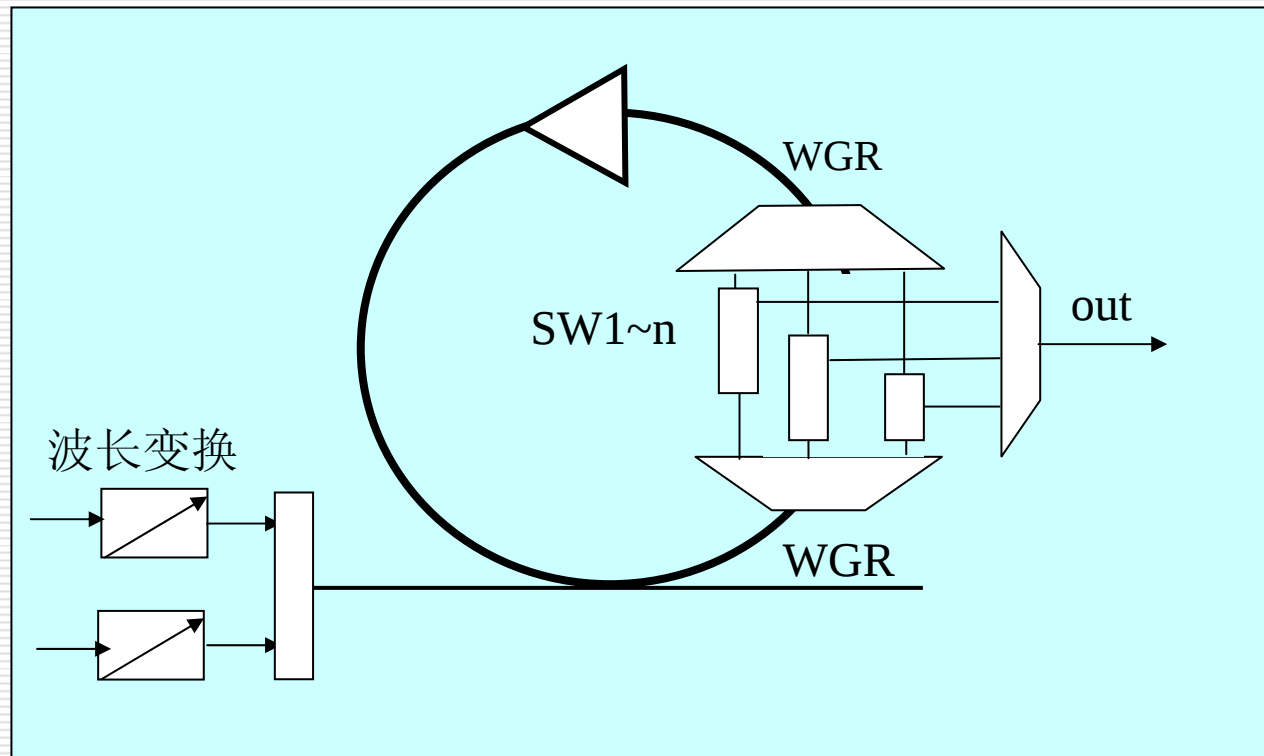
□ 光耦合器输入、光耦合器输出



K.Hall, et al, "All-Optical Buffering of 40 Gb/s Data Packets" IEEE, P.T.L., V.10, 1998

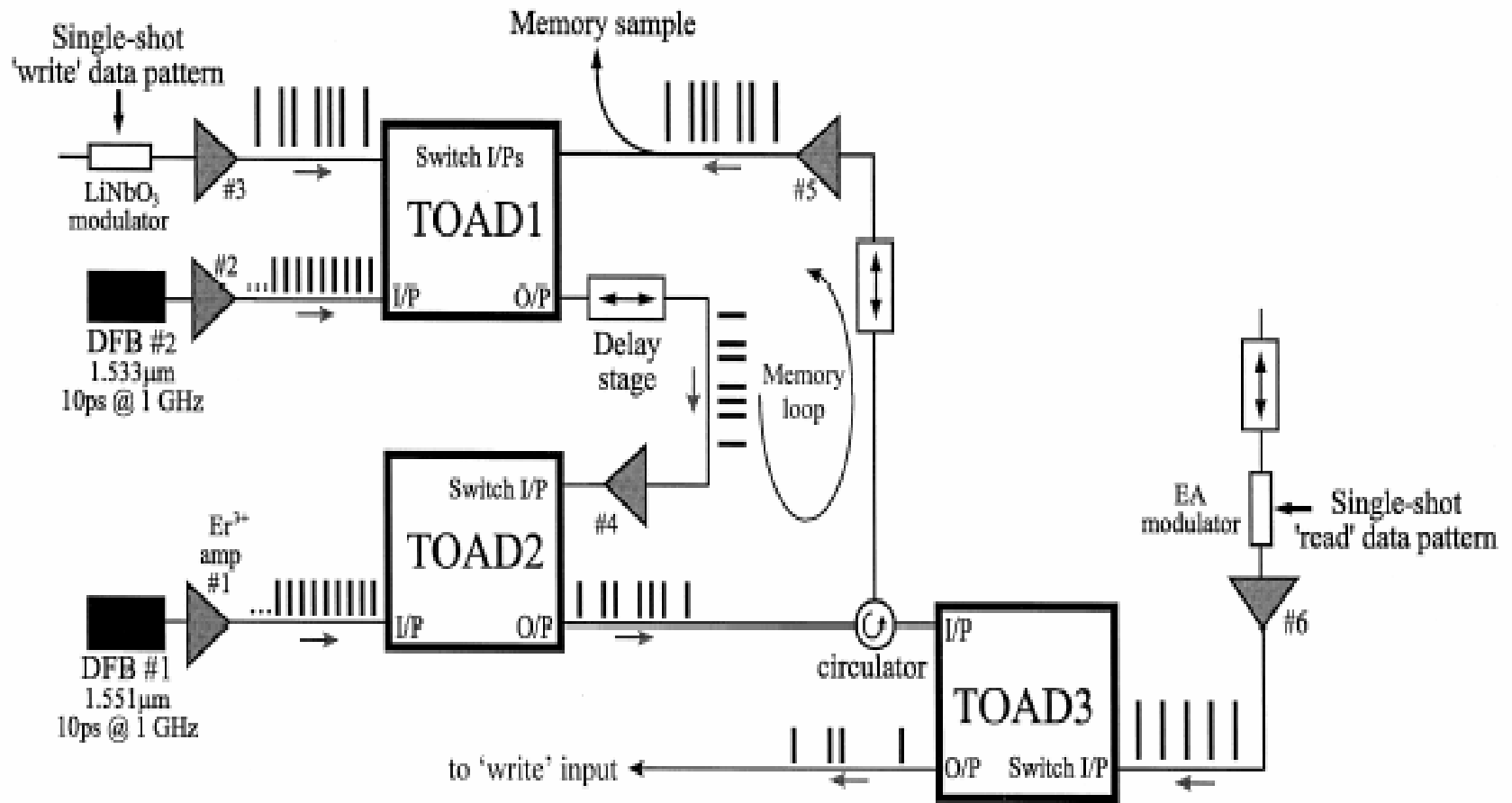
1998, Y.Chai,

□ 采用光耦合器输入、光开关输出



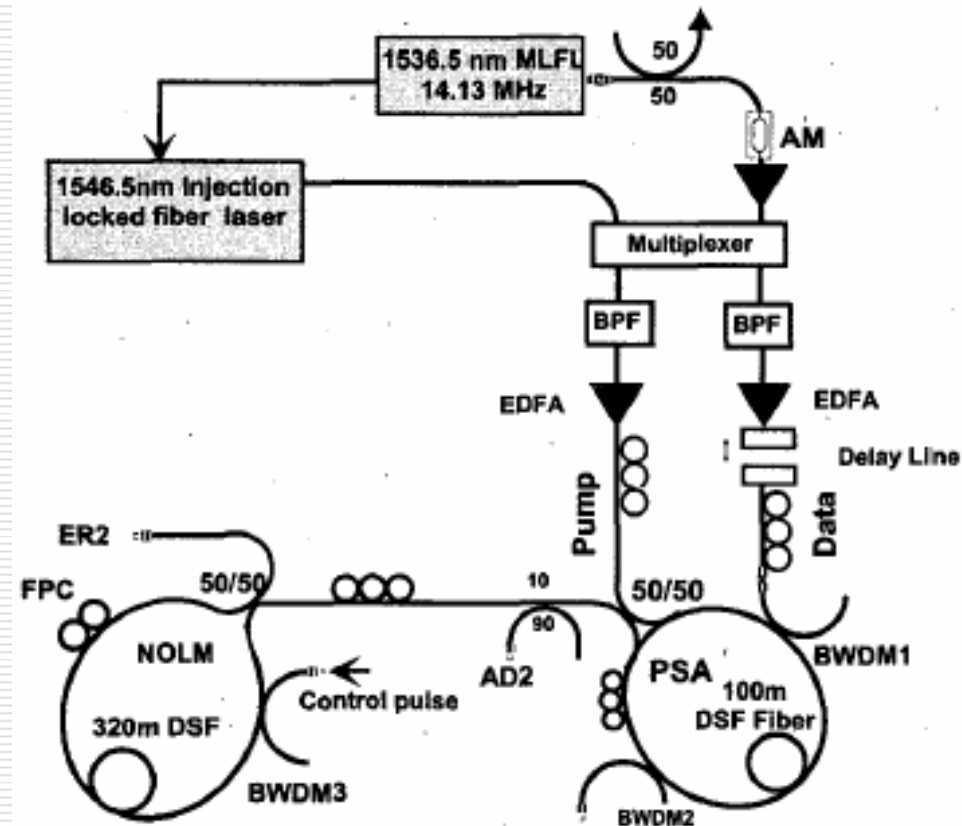
Y.Chai, et al, "Optical DRAM Using Refreshable WDM Loop Memory", ECOC'98 pp171.

1998, A.J. Poustie, 双TOAD



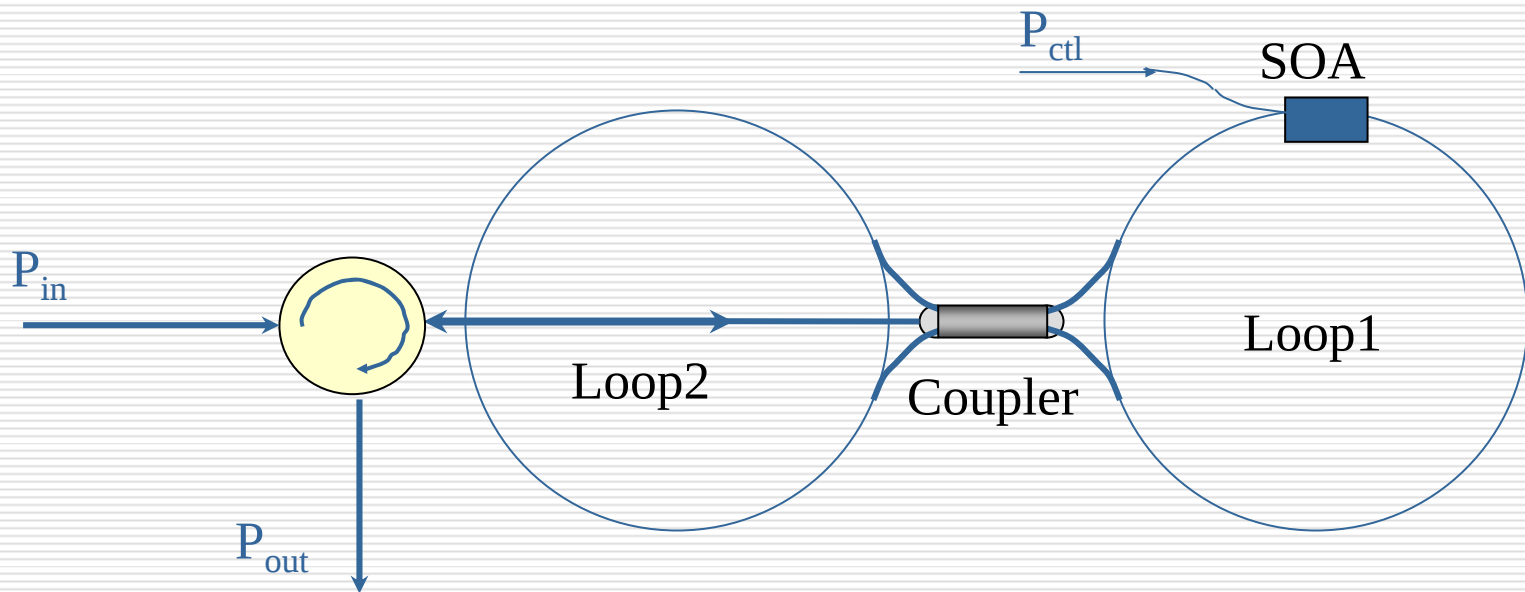
A.J. Poustie, et. Al Optics Communications 146 (1998) 262.

□ 反射光纤（FP腔）
+ 光开关

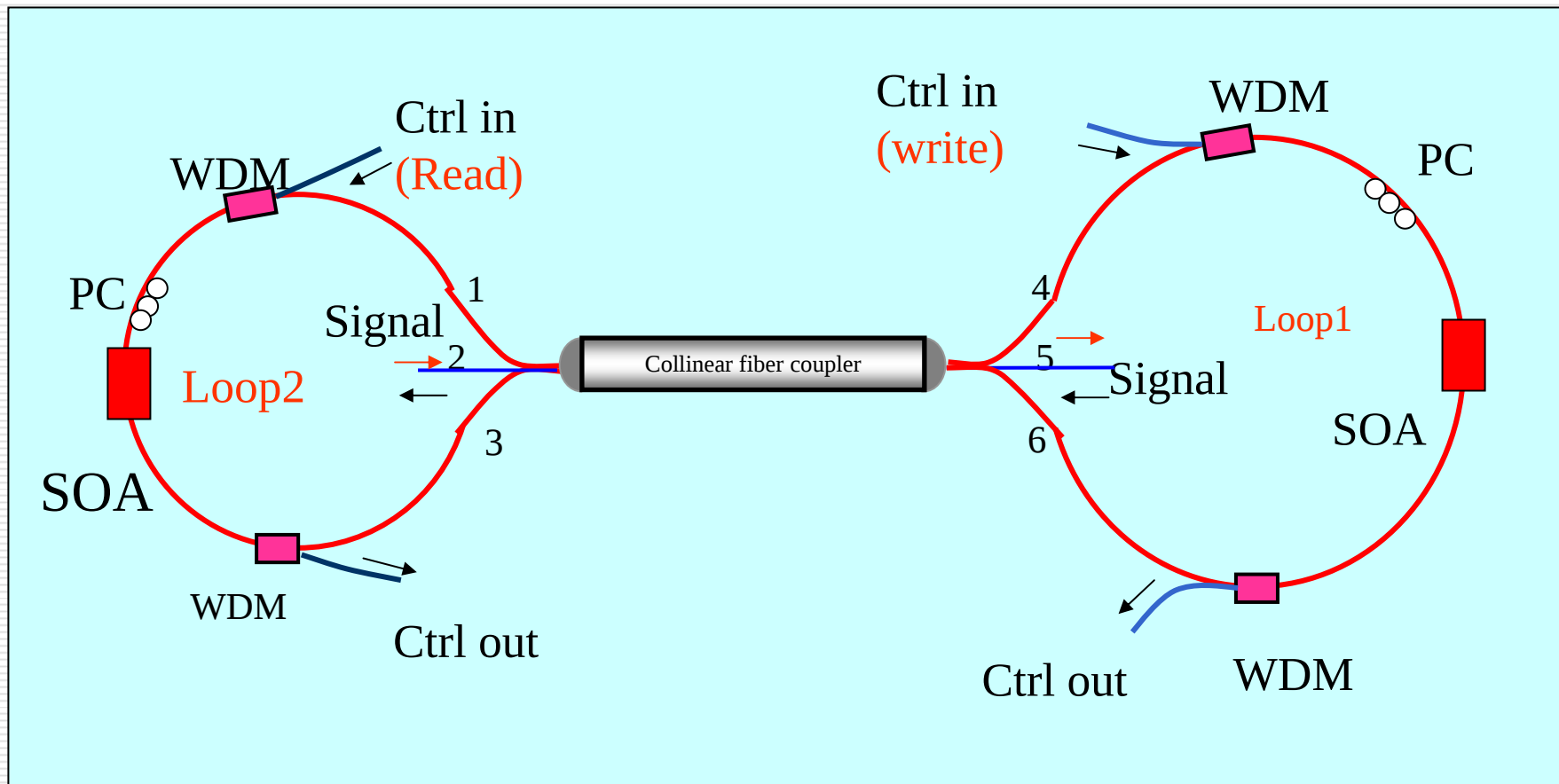


(2) 全光缓存器DLOB

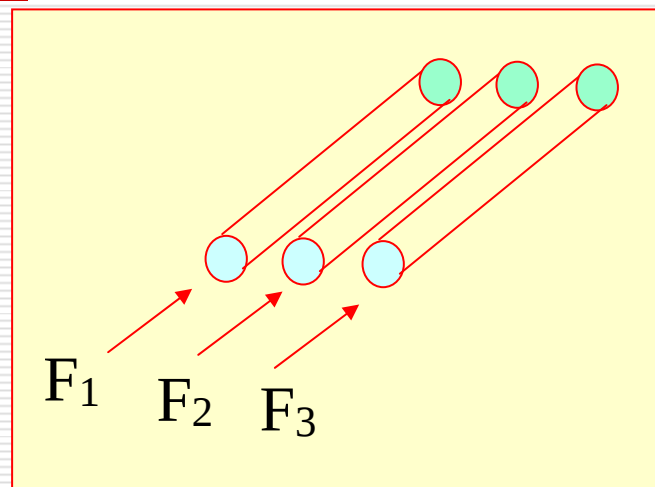
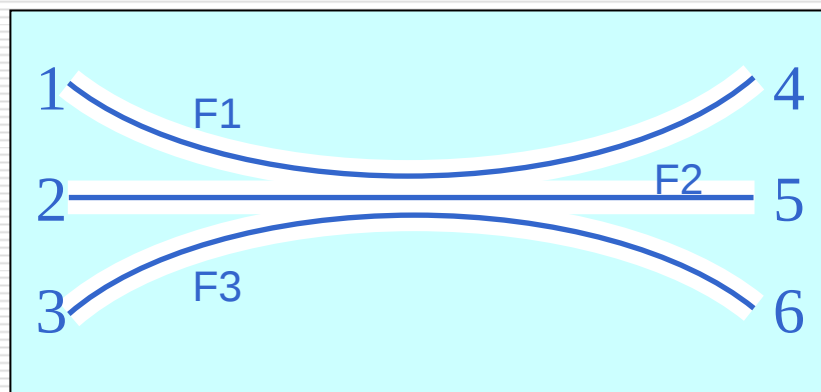
□ 双环耦合全光缓存器（返回式）



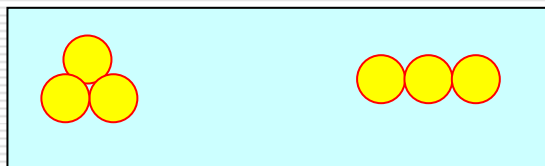
通过式DLOB



平行排列 3X3 光纤耦合器

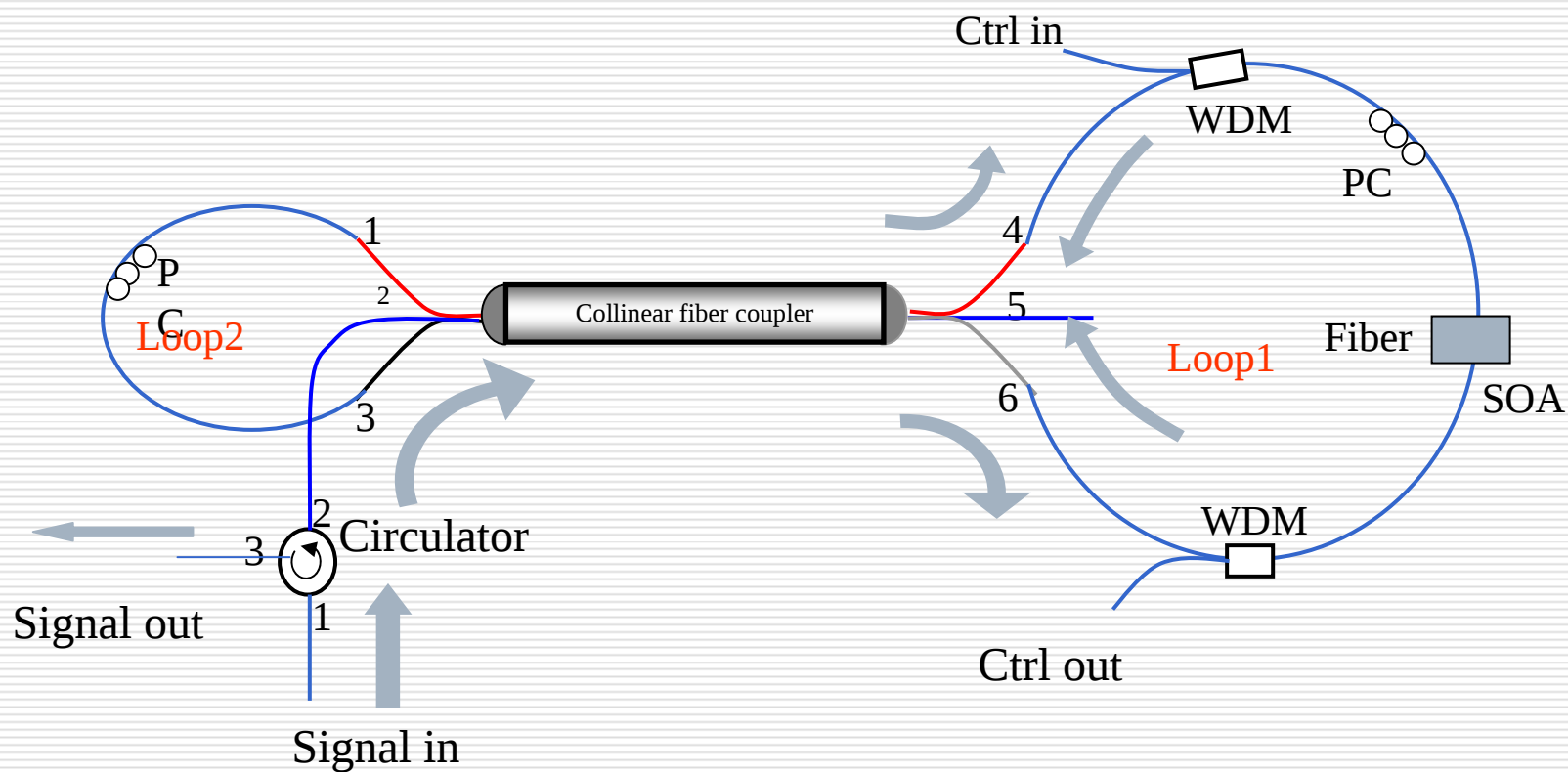


$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & i\frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{1}{2} \\ i\frac{\sqrt{2}}{2} & 0 & i\frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{1}{2} & i\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

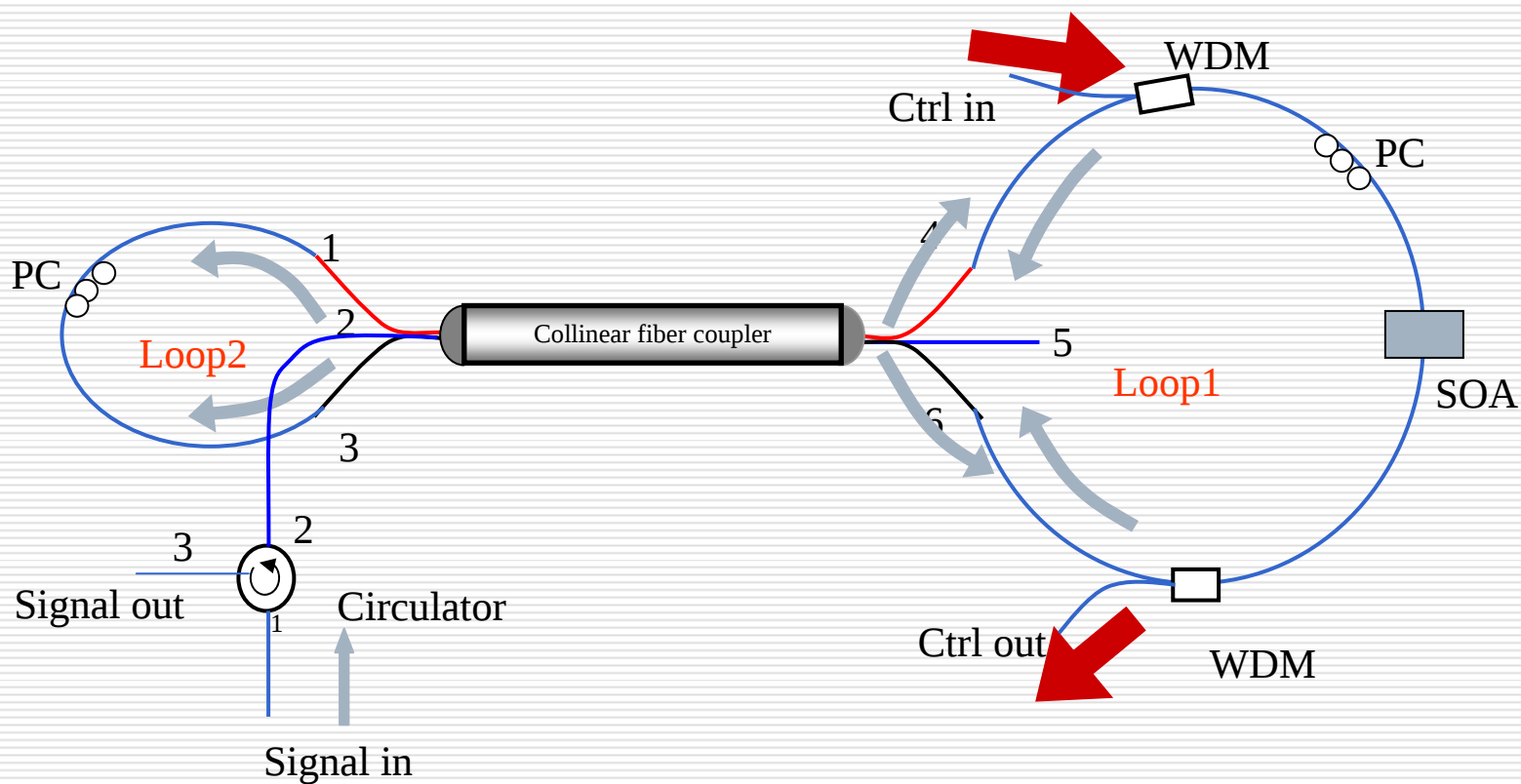


Dual Loop Optical Buffer 原理

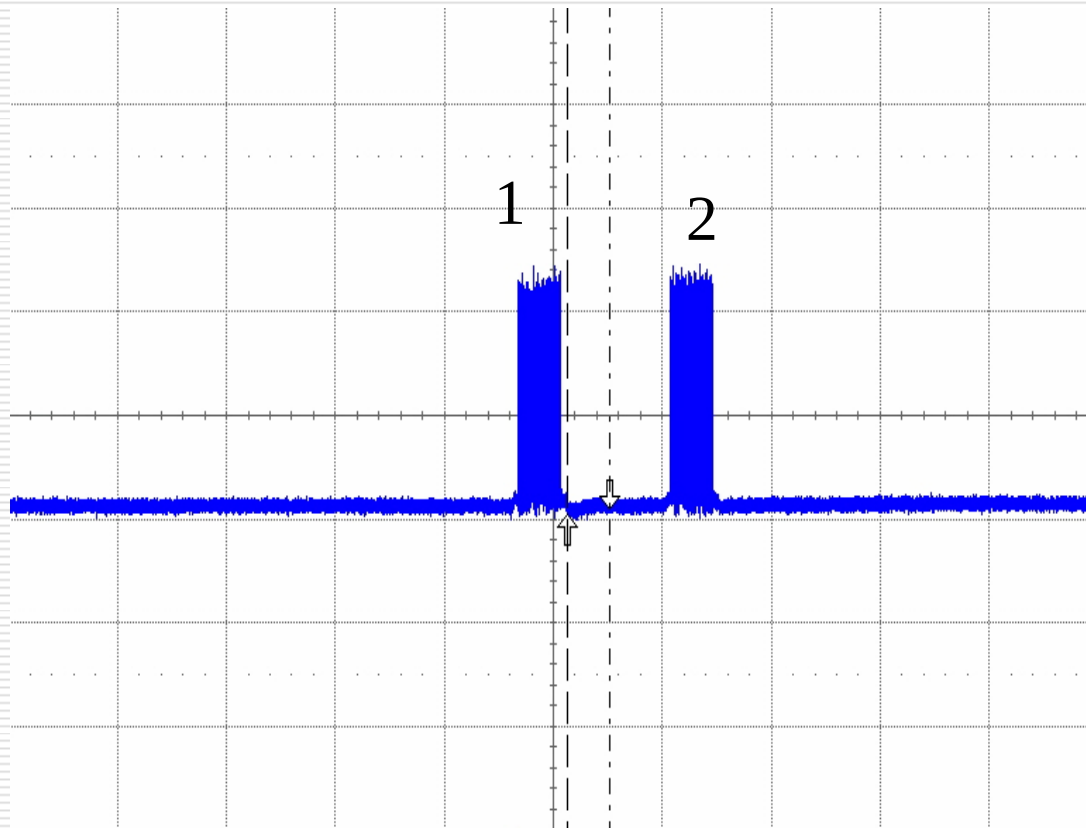
没有读写信号



有读写信号

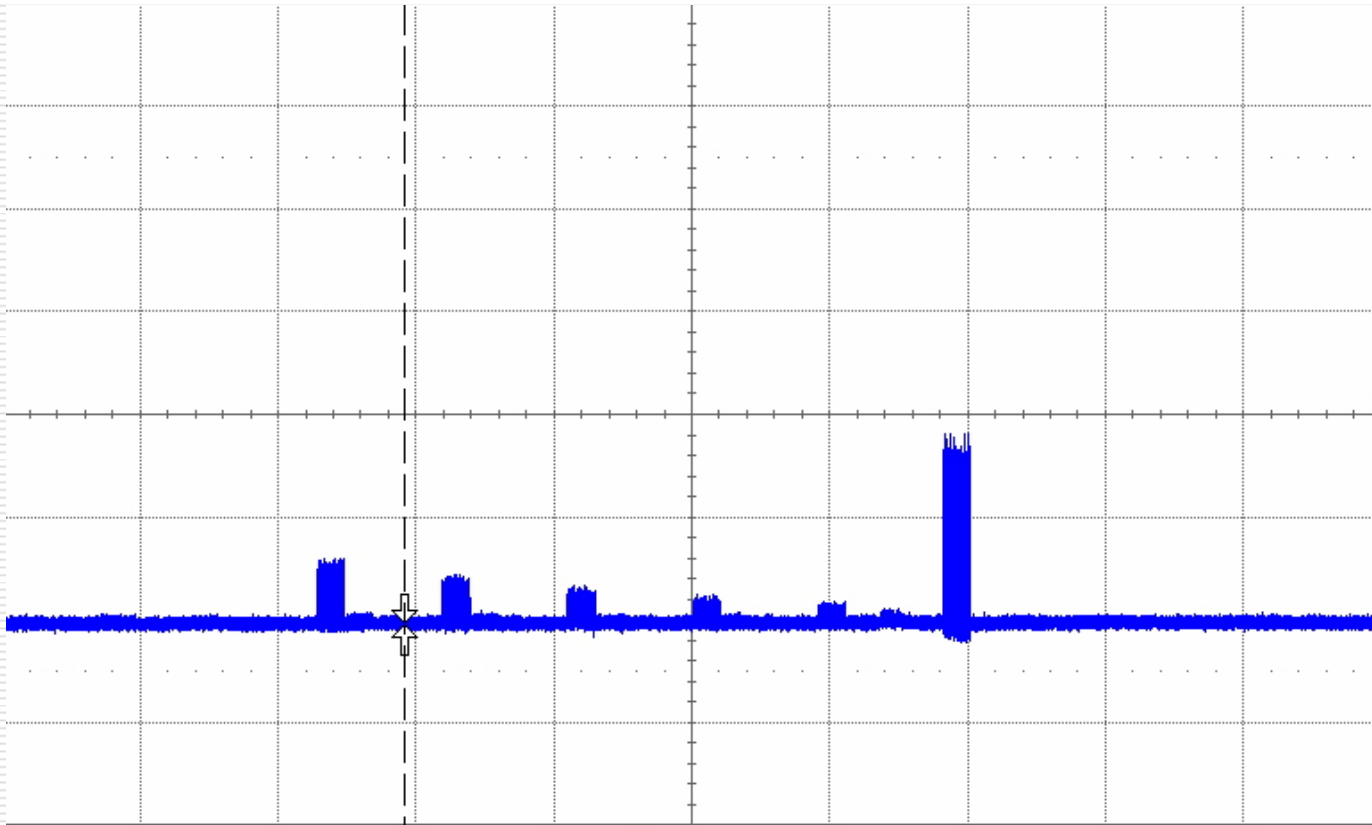


Experiment results

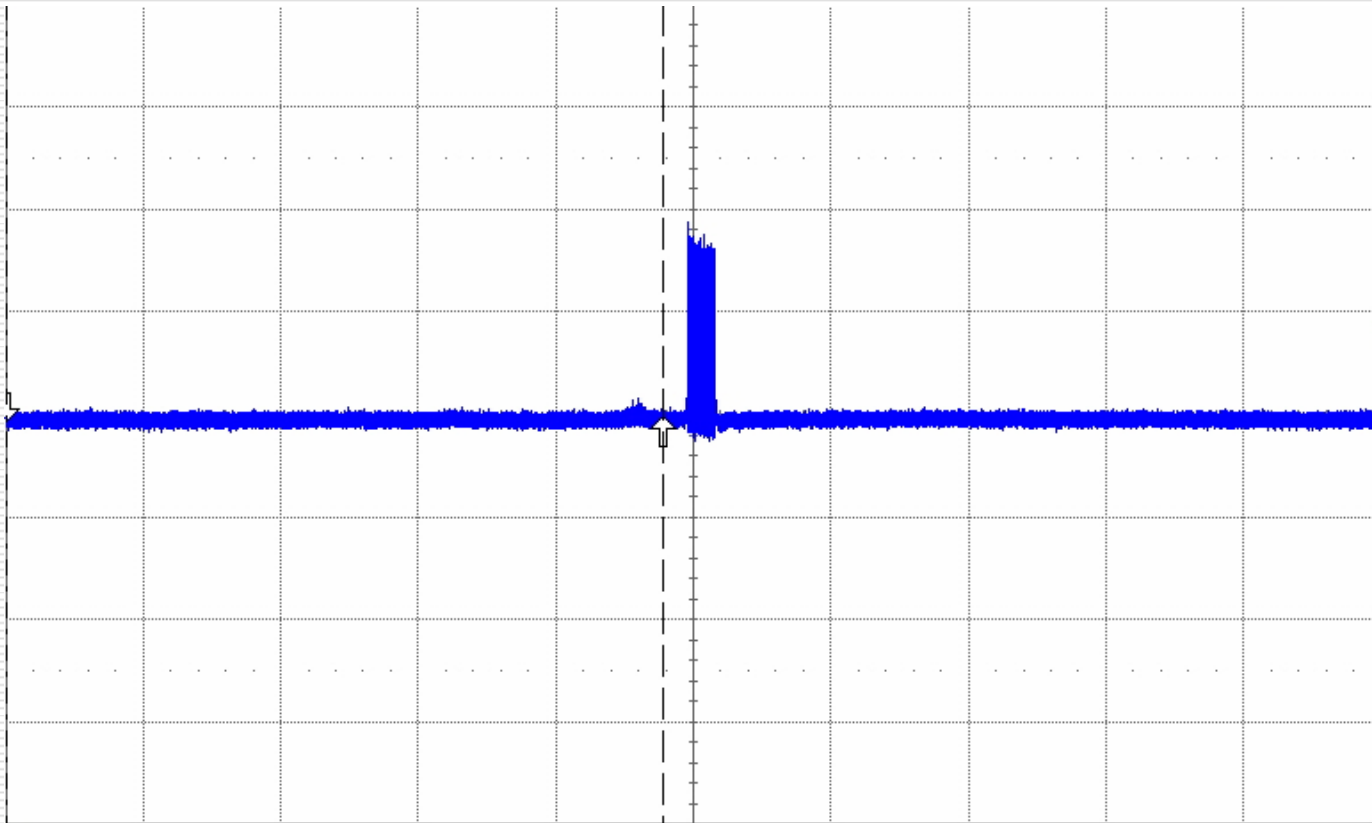


- ☐ 1 reference packet
- ☐ 2. Buffered packet

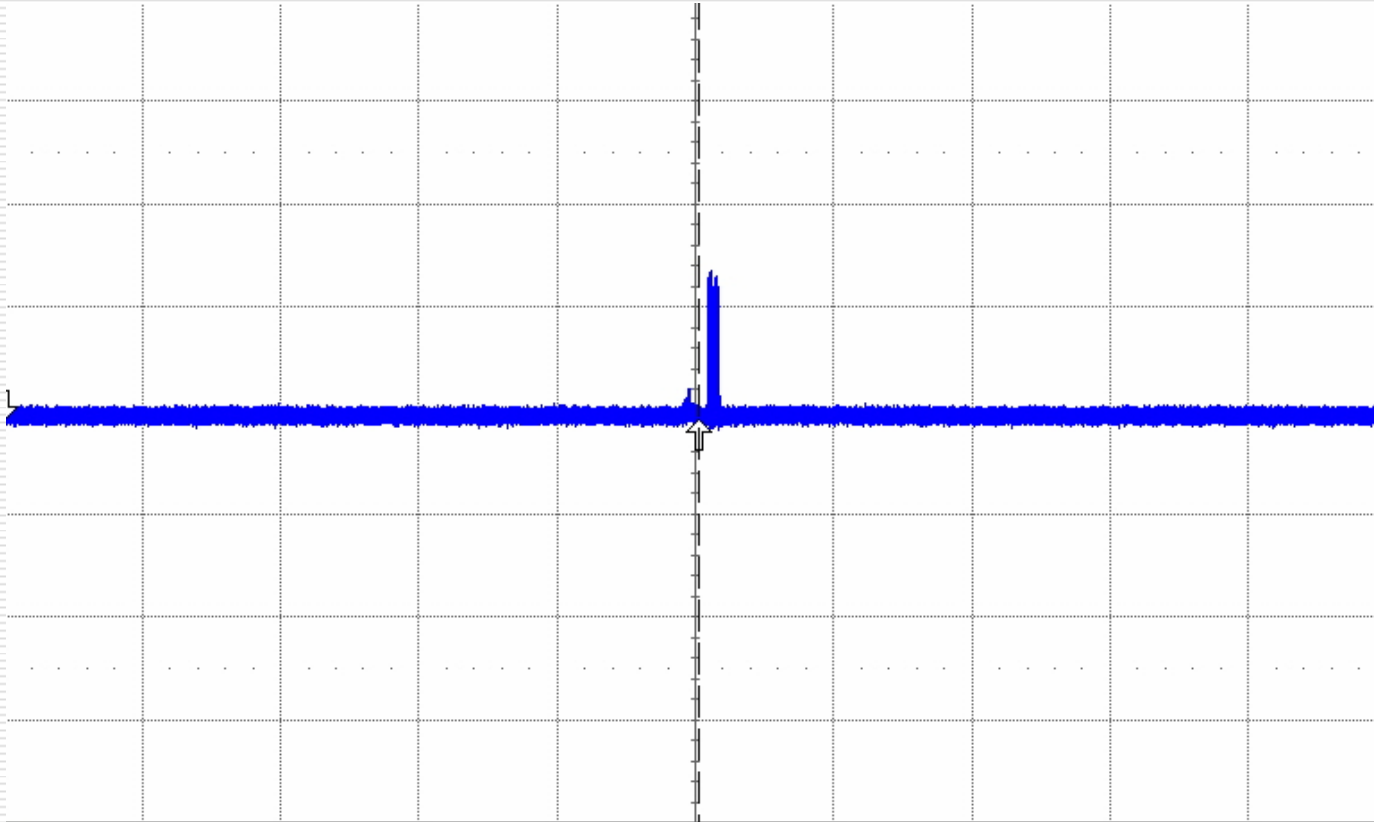
After 6 cycles, Residual pulse



After 6 cycles, no residual pulse



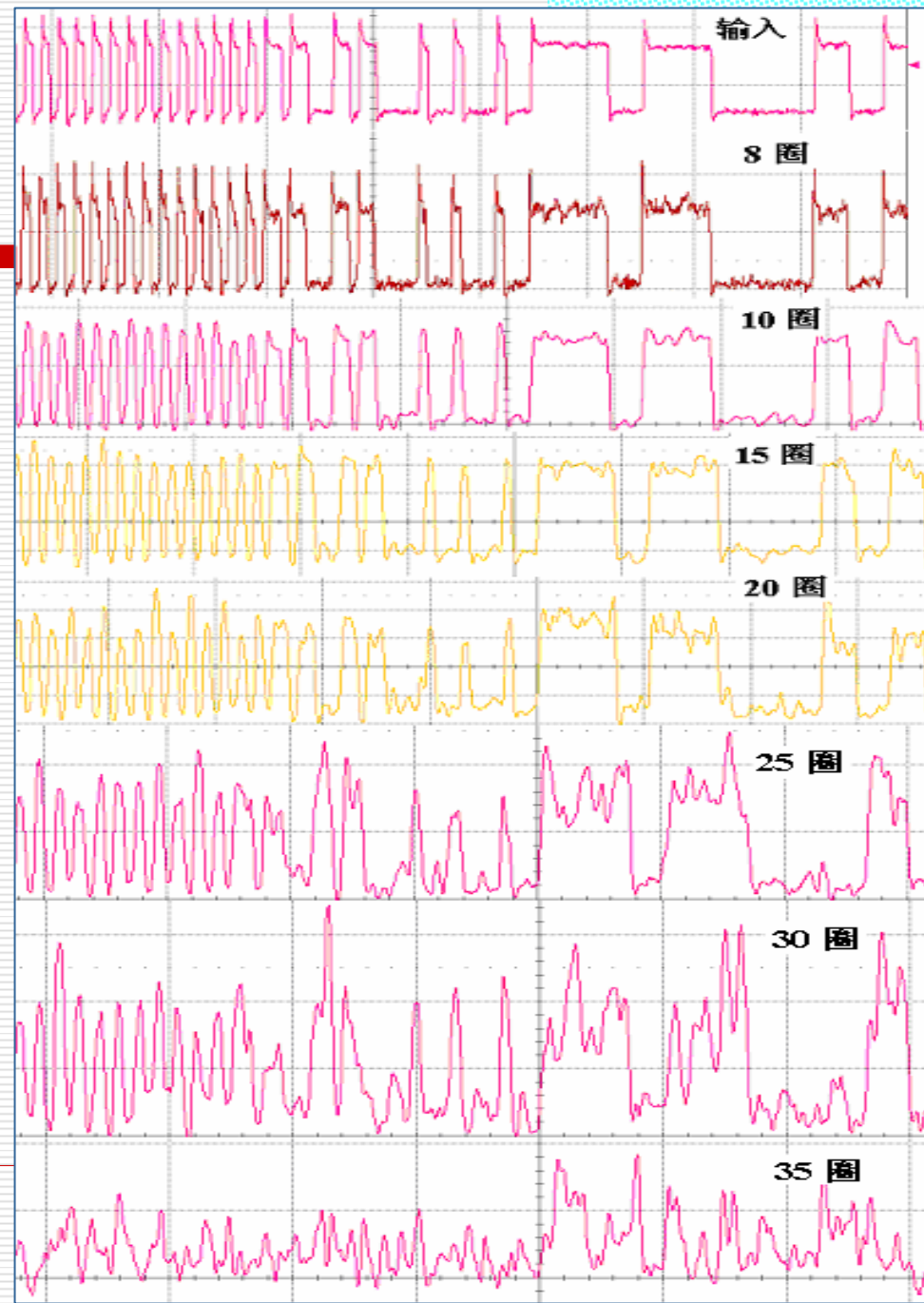
After 9 cycles, no residual pulse



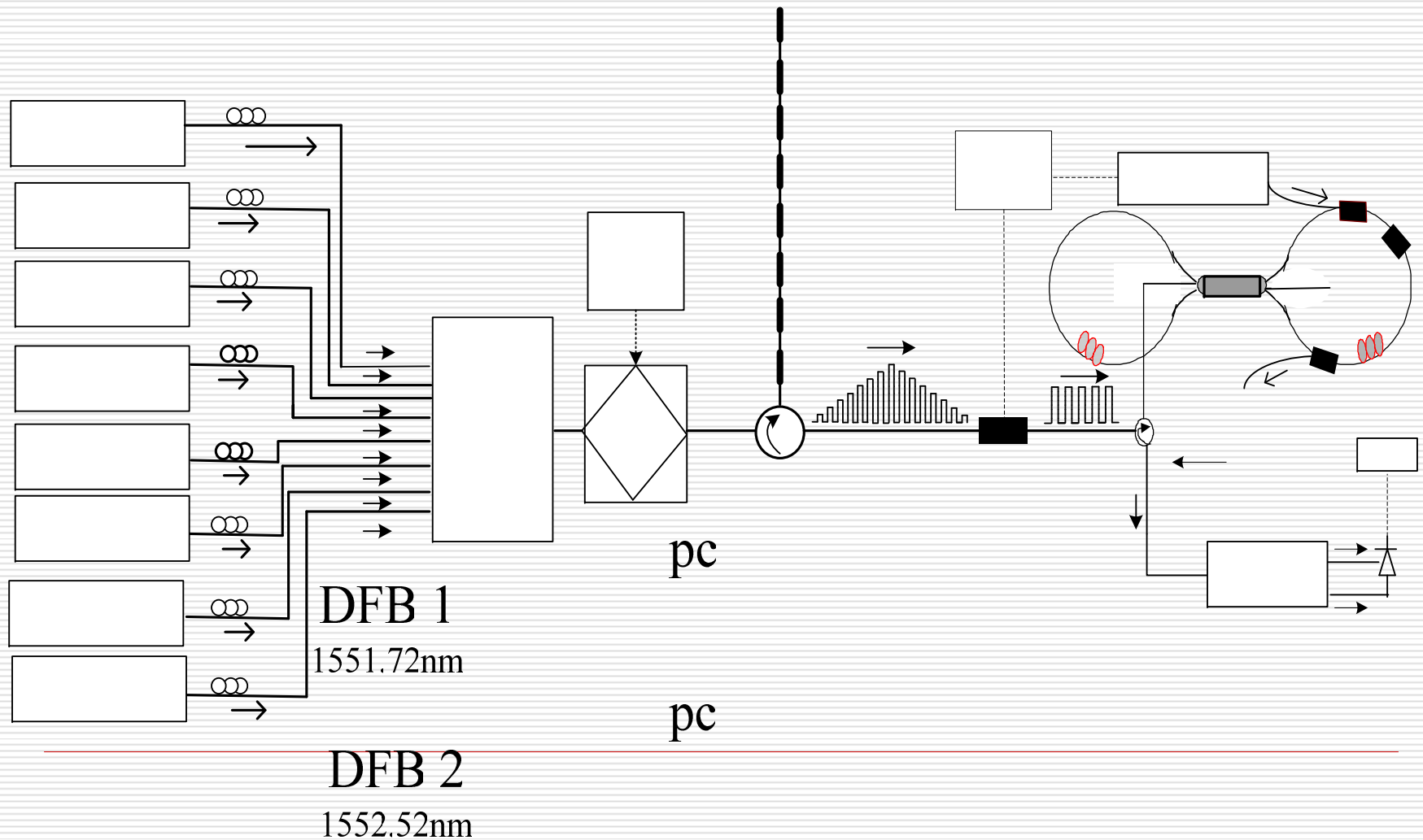
缓存效果

□ 2.5Gb/s

□ 细节



(3) 8波长缓存——实验系统

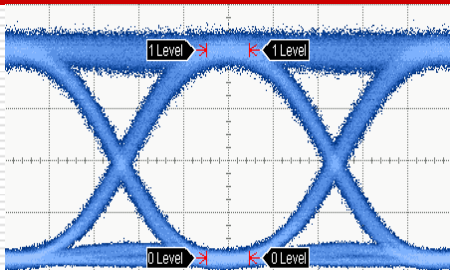


8波长缓存——实验系统

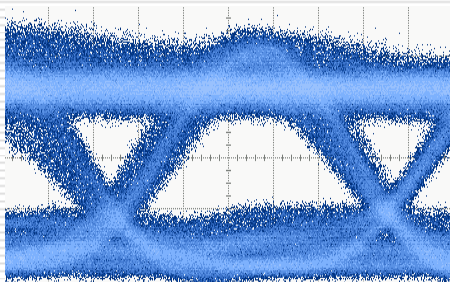


实验结果10Gb/s

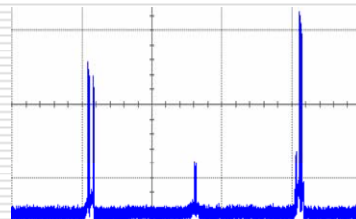
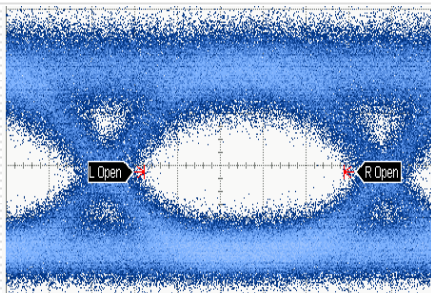
初始



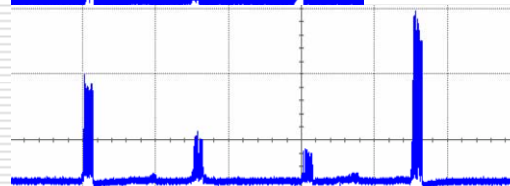
3周



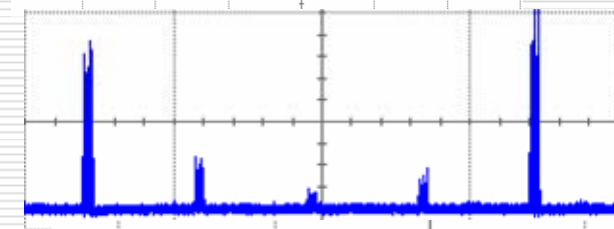
5周



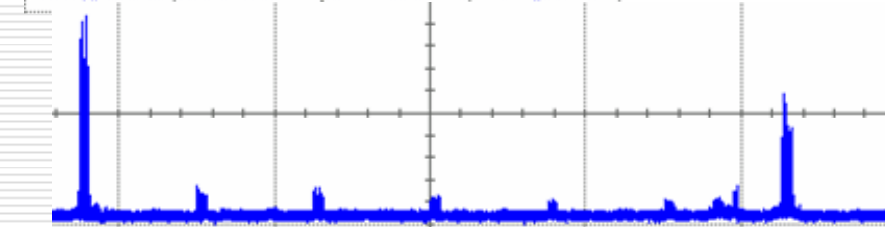
1 cycle



2 cycles



3 cycles



5 cycles

目录

- 1. 引言——慢光与光缓存器的研究热潮
 - 2. 缓存器的关键技术
 - 3. 光纤型全光缓存器
 - 4. 慢光的作用
 - 5. 结束语
-

4. 慢光的作用

- 4.1 实现慢光的技术方案
 - 4.2 目前只能够作微调
-

4.1实现慢光的技术方案

- (1) 基于光纤SBS效应的光速减慢研究
 - (2) 基于光纤Raman效应的慢光现象
 - (3) 光纤光栅与波导光栅的慢光
 - (4) 微环结构波导
 - (5) 无源光子晶体
 - (6) 有源光纤（**EDF**等）的慢光
 - (7) 体结构SOA
 - (8) 有源波导的慢光-周期结构-QD等
-

例：基于SBS效应的光速减慢研究进展

单位	作者/时间	研究内容/光纤	脉宽/速率	延迟	带宽
瑞士埃扎理工大学	K-Y. Song, 2005,1	SMF, 11.8km	100ns	30ns	35MHz
瑞士埃扎理工大学	K-Y. Song, 2006,2	DSF, 6.7km	2.7ns	2.7ns	40MHz
瑞士埃扎理工大学	Herraze, 2006	双泵零增益延迟	50ns	12ns	
美国康奈尔大学	Yoshitomo, 2005	SMF, 1km	30ns	25ns	30MHz
美国杜克大学	Zhaoming Zhu, 2006	HNLf, 2km	75ps	47ps	12.6GHz
美国杜克大学	Zhaoming Zhu, 2007	透明传输研究	9ns	0,3ns	150MHz
美国杜克大学	Zhaoming Zhu, 2007	调制格式研究DPSK	10.7Gb/s	42ps	
美国杜克大学	Zhaoming Zhu, 2007	超强泵浦（100W）	ns级	4-12ns	
美南加州大学	A. E. Willner, 2007	多数据通道控制	2.5Gb/s	112ps	
美南加州大学	A. E. Willner, 2007	OTDM同步	2.5Gb/s		
加渥太华大学	Xiaoyi Bao, 2007	伪随机序列宽带光源	1Gb/s	425ps	
英南安普敦大学	C.Jauregui, 2006.5	Bi-HNLf, 2m	180ns	46ns	40MHz
法国GET电讯公司	Lilin Yi, 2006	调制格式影响	10Gb/s	31/51/81p	
德国应用科学大学	T. Schneider, 2007	泵浦光源波长布置	120ns	100ns	
俄罗斯莫斯科大学	A. Zheltikov, 2007	走离与偏振的影响	---	---	---
日本东京大学	K-Y. Song, 2007	双泵级联	37ps	10.9ps	25GHz
以色列Tel-Aviv大学	Avi Zadok, 2007	啁啾可控的激光器		230ps	2GHz
以色列海发技术学院	G. Eisenstein, 2006	参量放大+SBS	40Gb/s	60ps	
香港中文大学	Alan Cheng, 2007	相位调制宽谱源	26.6ps	10ps	10GHz
上海交通大学	Lilin Yi, 2007	载波抑制技术/12.5km	1.25Gb/s	520ps	

4.2 目前只能够作微调

- 总体上看，慢光的带宽延迟时间过小，与光纤型相比，只能做微调。
 - 由于慢光的延迟时间可以连续调节，可以弥补光纤型缓存器不能连续调节的不足
 - 今后的缓存器将是这两种技术的结合
-

5. 结束语

- （1）全光缓存器是全光分组交换的关键，是实现光交换、光路由以及光计算的关键部件
 - （2）真正的光缓存器必须具有读写功能
 - （3）光纤环路型与慢光结合是未来光缓存器的发展方向
-

谢谢！