



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

# 空间量子通信光源系统

核探测与核电子学国家重点实验室

汪渊

# 实验背景和目的

- 现阶段量子通信研究主要基于光纤信道。

传输距离受到光纤固有损耗和色散效应限制，极限距离在200 km左右。

- 无法实现全球范围量子通信覆盖网。

- **星地间密钥分发**：大气层厚度为10—15 km，在大气层外的真空传输段内不再受到传输介质带来的衰减，可以实现上千公里的超远程密钥分发。该技术如果实现，将为全球覆盖保密通信网的建立奠定基础。

- **本实验的目的**：为实现星地间密钥分发的前期地面验证性实验。由于密钥发射采用弱相干光源，实验采用诱骗态工作模式保证系统的安全性。

# 系统设计

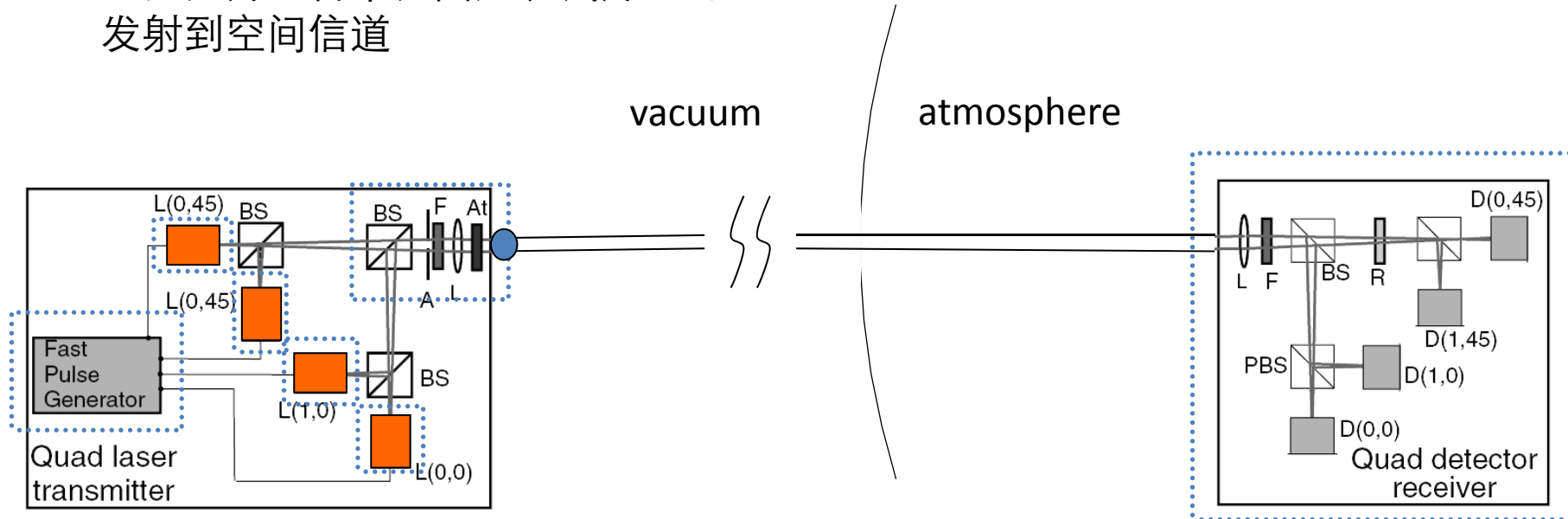
## 密钥分发系统结构

- 光源部分

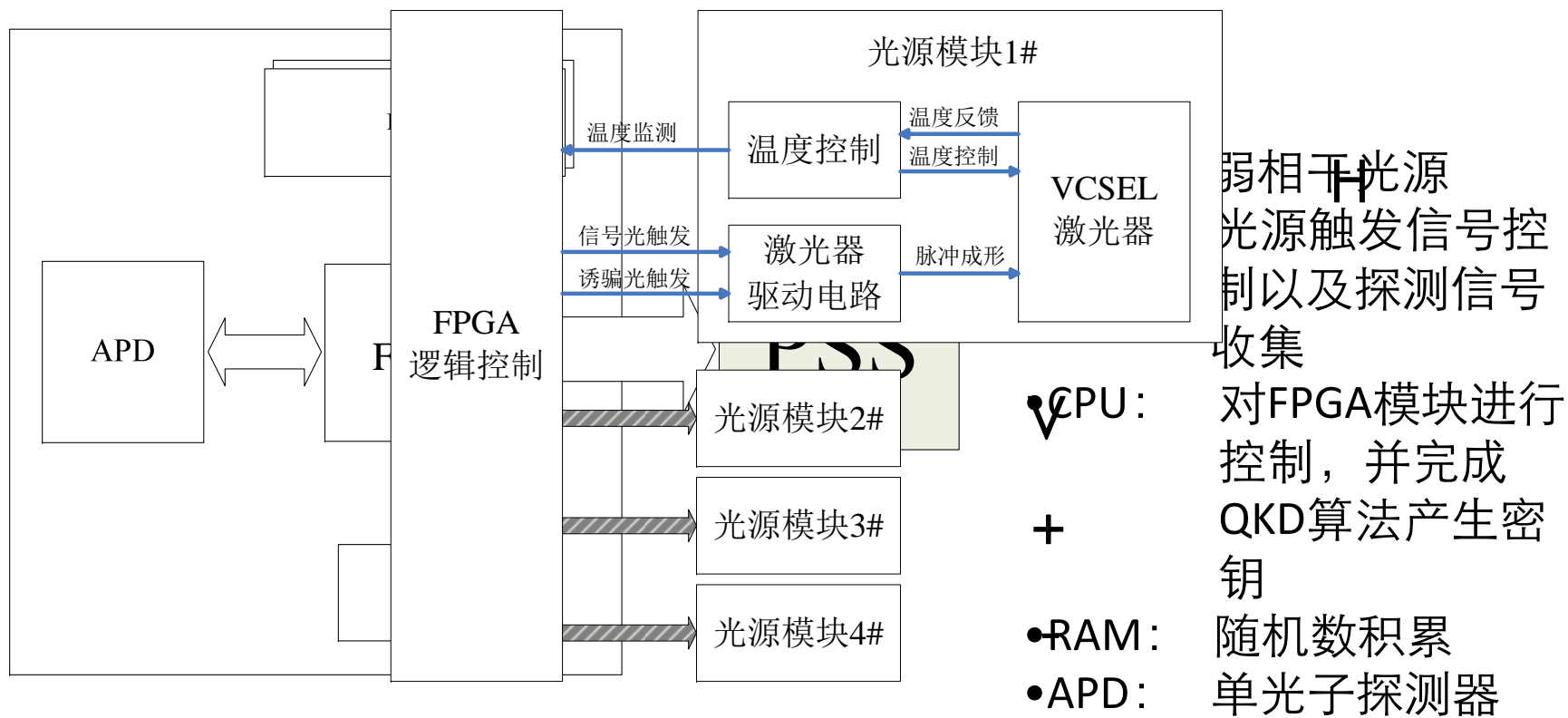
- 随机数模块在四路光模块中随机选择一路发送信号态或诱骗态光
- 光子从激光器出射并经过偏振片，形成四种偏振态H、V、+、-
- 经分光片BS合束，固定衰减片 At 后发射到空间信道

- 探测部分

- 光子经过偏振选择光路后进入单光子探测器



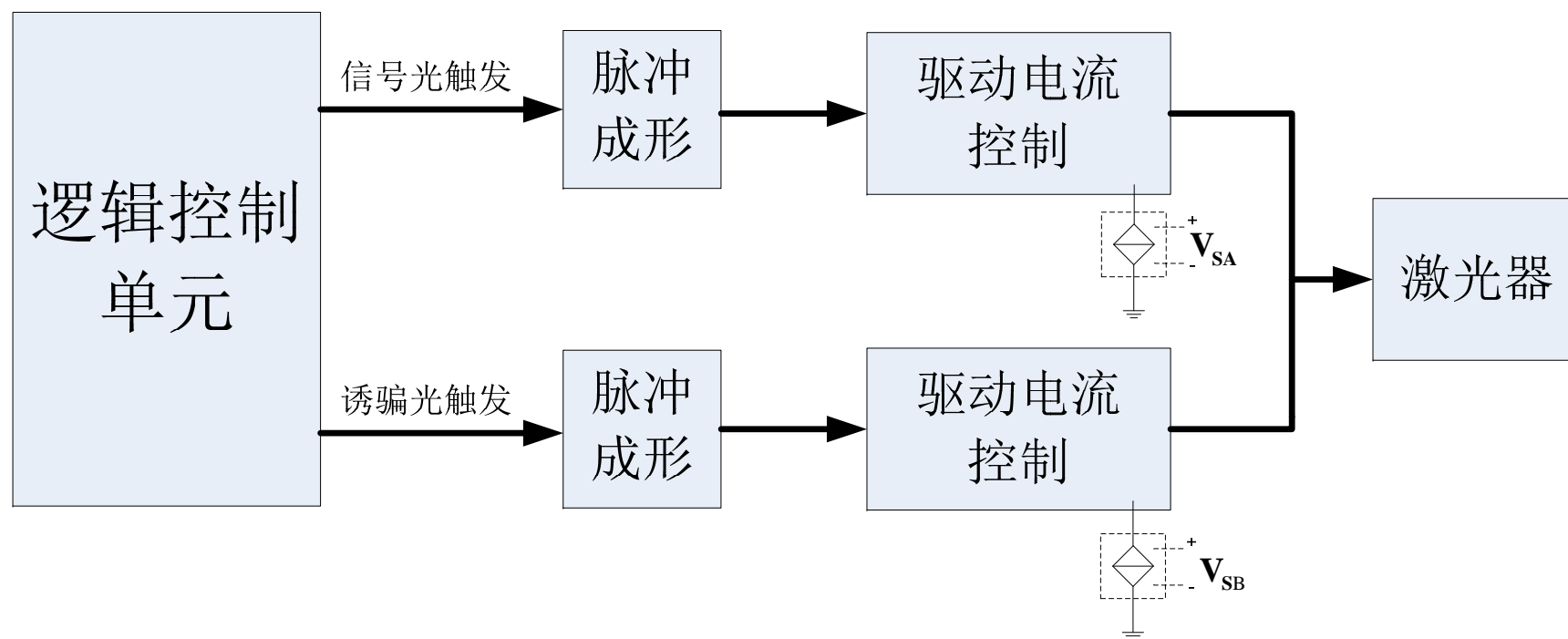
# 光源电子学系统结构



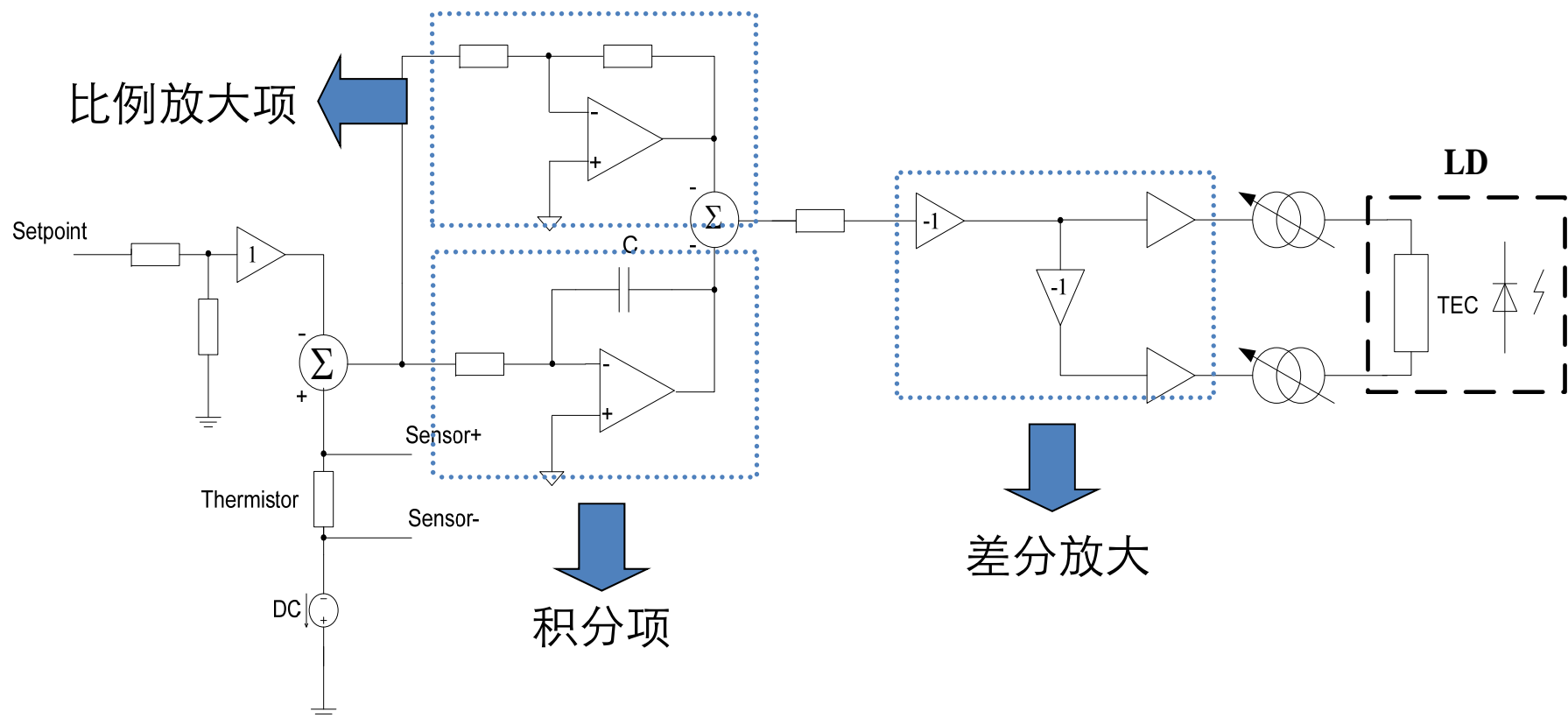
弱相干光源  
光源触发信号控制以及探测信号收集

- ✓ CPU: 对FPGA模块进行控制，并完成QKD算法产生密钥
- +
- RAM: 随机数积累
- APD: 单光子探测器

## 激光器驱动电路



# 基于PID算法的温度线性控制电路



# 实验结果

## ● 光源性能

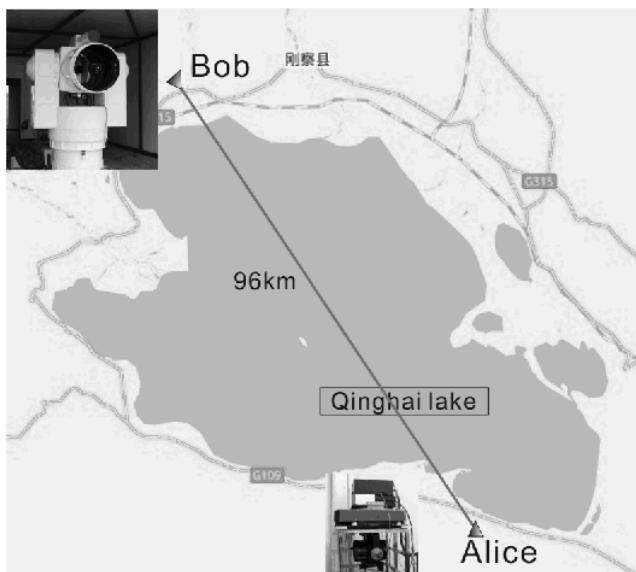
	指标要求	性能实测
脉宽(底宽/半高宽)	1ns / 500ps	<800ps / <400ps
重复频率	100MHz	>100MHz
功率稳定性	<5%	<1%
可调动态范围	10dB	>10dB
温控精度	0.1C°	0.02C°
波长一致性	0.1nm	0.1nm
中心波长变化	0.01nm	0.01nm
脉冲前沿抖动	<100ps	<100ps

## ●空间密钥分发实验结果

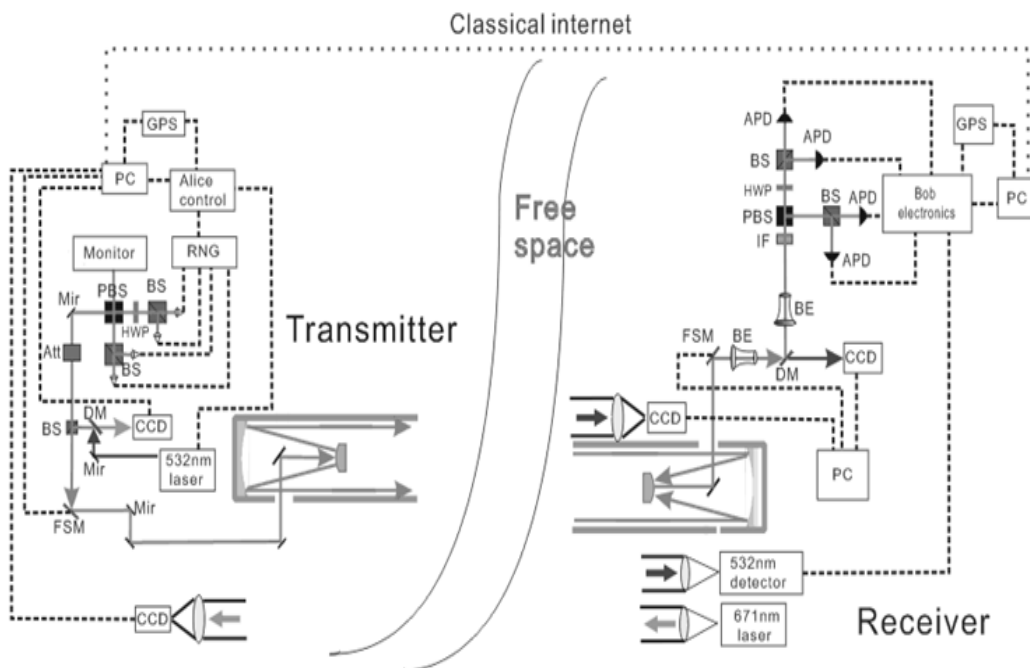
- 密钥分发距离— 96km
- 误码率— 3.09%
- 成码率— 60bit/s
- 传输链路衰减— 50dB

Repeat frequency	$10^8$	Error rate of signal pulse	3.09%
Average photo number per pulse for signal states	0.6	Gain of signal-state	$4.56 \times 10^{-6}$
Average photo number per pulse for decoy states	0.2	Gain of decoy-state	$2.27 \times 10^{-6}$
Proportion of signal-state	0.5	Gain of vacuum-state	$4.58 \times 10^{-7}$
Proportion of decoy-state	0.25	Final key rate	$2.40 \times 10^{-6}$
Proportion of vacuum-state	0.25	Total keys	43680
Experiment time (s)	728	Keys per second	60
Coarse tracking error ( $\mu\text{rad}$ )	$\pm 200$	Fine tracking error ( $\mu\text{rad}$ )	$\pm 6$





地理位置



实验结构框图



谢谢!

- 量子态制备

$|H\rangle$ , 垂直方向偏振

$|V\rangle$ , 水平方向偏振

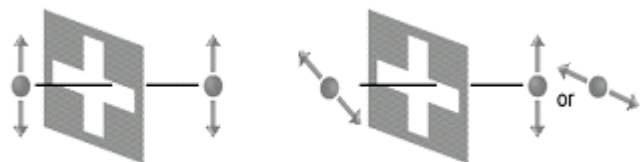
$|+\rangle$ , 正45度方向偏振

$|-\rangle$ , 负45度方向偏振

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	↘	↘	→	↑	→	↗	→	↑	↑	↘	↗	→	↘	↑
B	+	x	x	+	x	x	+	x	x	x	+	+	+	+
C	→	↘		↑	↗	↗	→		↗	↘	↑		↑	↑
D		↘		↑		↗	→			↘				↑
E		1		1		0	0			1				1

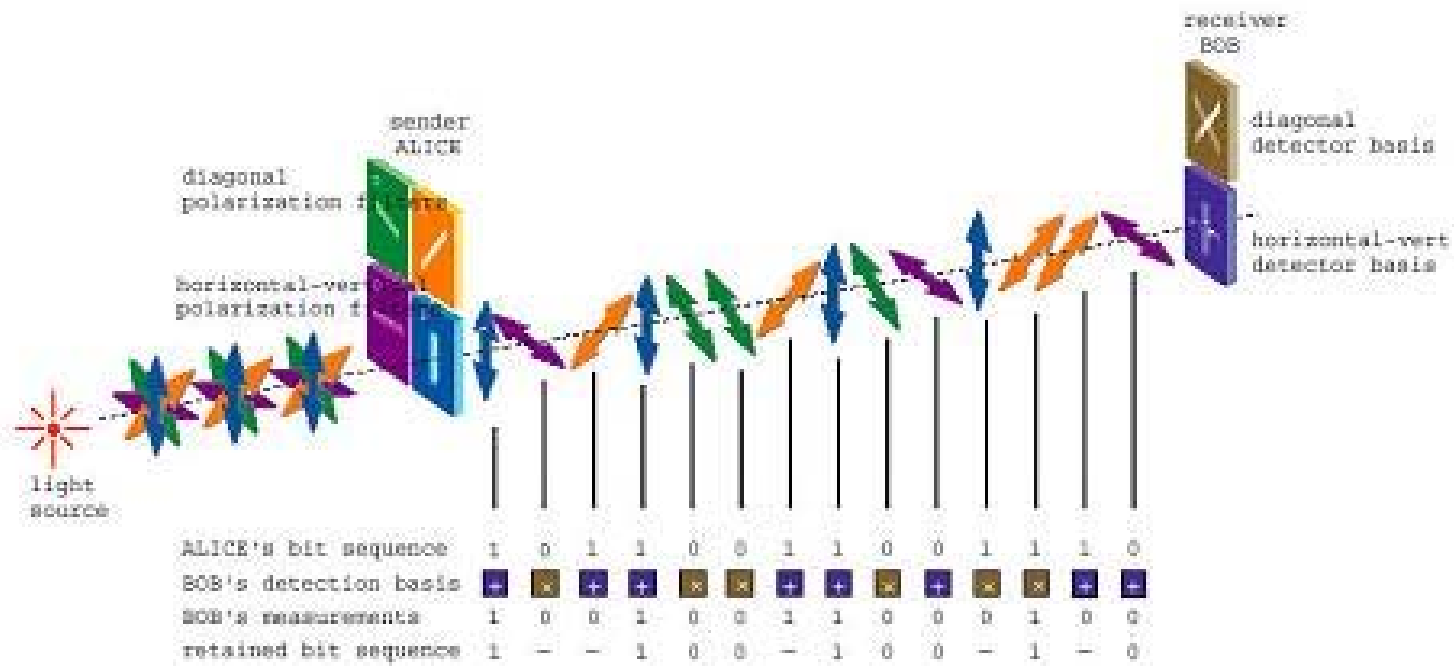
- 量子态测量

接收方随机选择HV或+-，  
对接收到的光子进行测量。



- 基矢比对

接收方将发射方基矢与测量结果相比对。匹配则保留，否则测量结果删除。最终得到原始成码。



- 恒比定时甄别器（CFD）设计——设计了一个双通道恒比定时甄别器插件，经测试技术指标达到了同类商用插件的水平。
- 量子通信电压脉冲产生器设计——该设计用于控制光强调制器以实现光脉冲功率的调节，从而实现量子密钥分发诱骗态工作模式。该系统在合肥首个五节点量子电话网工程中已经成功应用。
- 单光子探测器设计——该设计用于空间量子通信接收方对单光子信号的收集。在外场试验中作为探测系统已经成功应用。
- 量子通信高压驱动及信号编码模块设计——该模块用于基于纠缠源的自由空间信道量子通信试验，在试验中实现对基矢的主动选择。该系统在外场试验中已经成功应用。