



射线物理研究所

INSTITUTE OF RADIATION PHYSICS

公开

# 超高速成像系统与器件研制进展

西北核技术研究院

射线物理研究所

严明 研究员



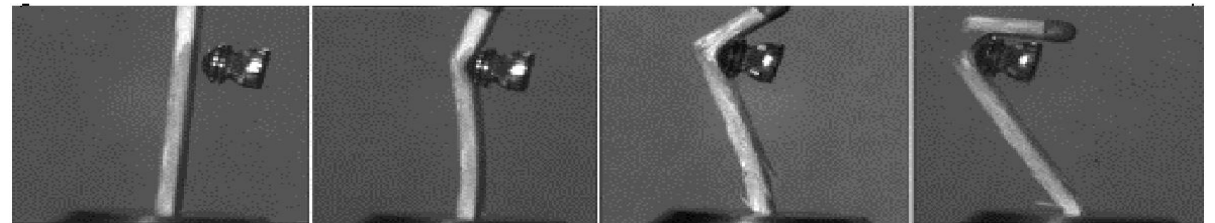
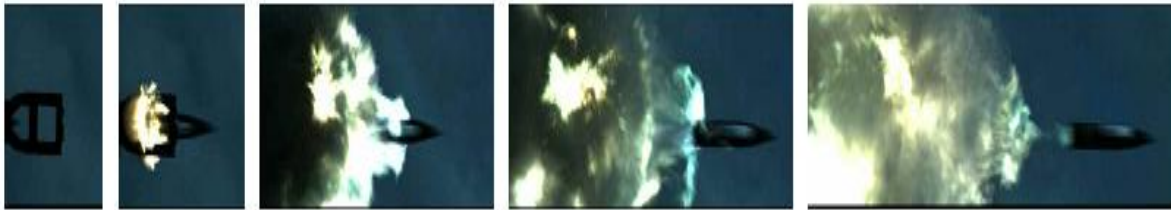
# 报告内容

1. 高速成像技术概述
2. 超高速成像系统研制进展
3. 系统自主可控与器件研制进展
4. 高速成像核心器件发展展望

# 一、高速成像概述

## ◆ 高速成像的概念与内涵

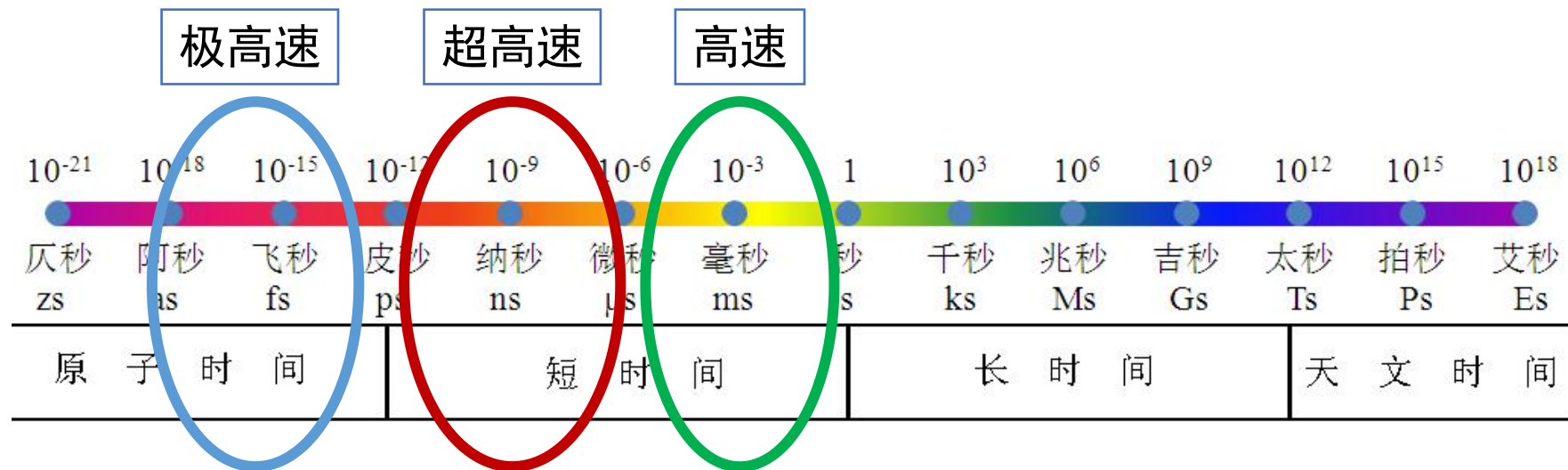
- 图像是人类认识外部世界的重要信息来源
- 高速成像技术也可称为**时间放大技术**，是高速过程分析的基础诊断技术
- **高速成像**：相对于人眼来说，大于24帧每秒的成像都可以叫做高速成像，一般指大于60帧每秒的成像。



# 一、高速成像概述--基本概念及内涵

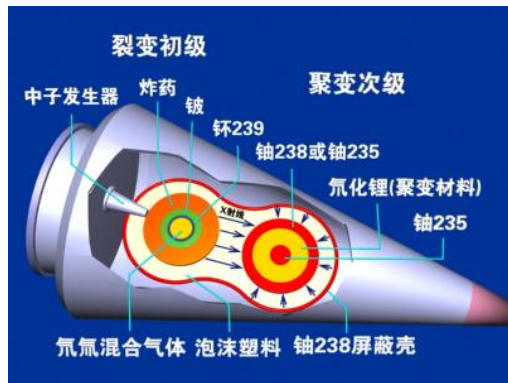
## ◆ 高速成像的概念与内涵

- **超高速成像**：帧频率没有明确定义，通常指**微秒时间分辨以上**的成像
- **瓦森纳协议**对中国禁运的是**微秒级以上**性能指标的成像系统（**百万帧每秒**）。
- 超高速成像主要解决**快速过程的时间分辨图像获取**问题

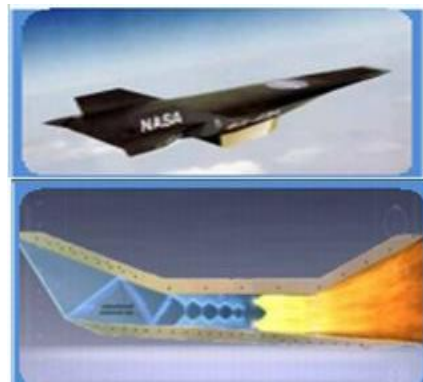


# 一、高速成像概述--基本概念及内涵

- 超高速成像是瞬态物理研究的**基础诊断设备**。
- 可以获得**皮秒~微秒时间分辨**的序列图像，对超快现象进行精细研究，有助于**发现新现象，形成新认识，解决基础难题**
- 在武器物理研究、爆轰力学研究、高超声速武器、空间碎片防护等**国防相关尖端科学技术领域应用广泛**。



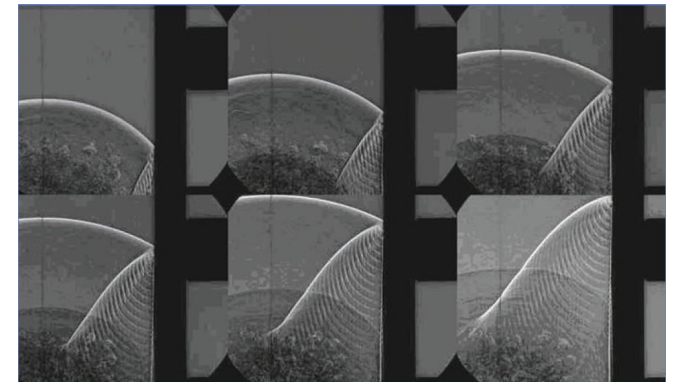
核材料结构



冲压发动机



空间碎片

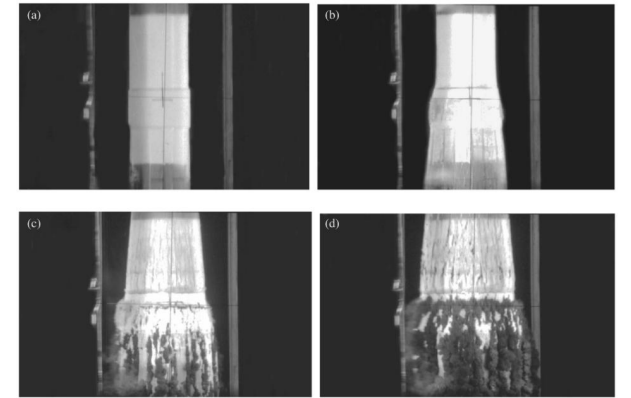
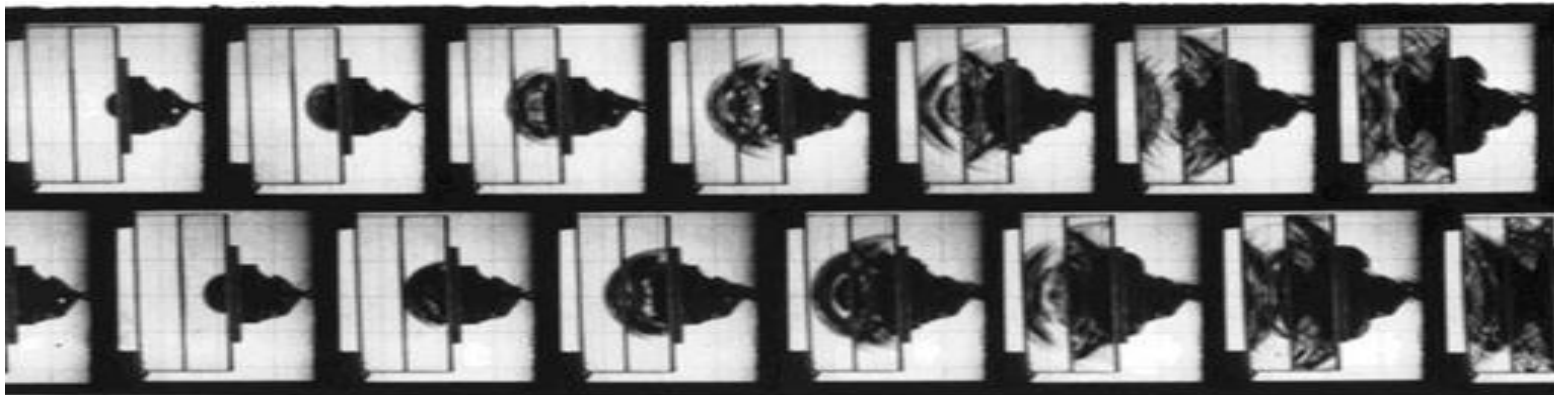
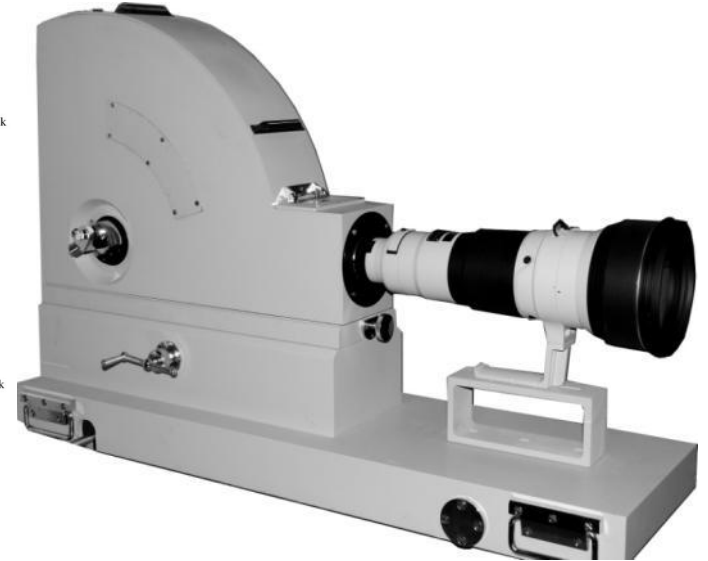
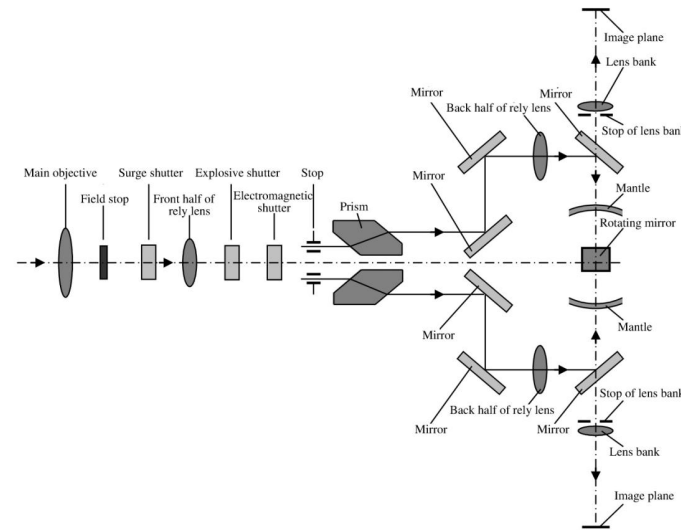


冲击波传输过程

# 一、高速成像概述--系统技术现状

## • 转镜式超高速相机

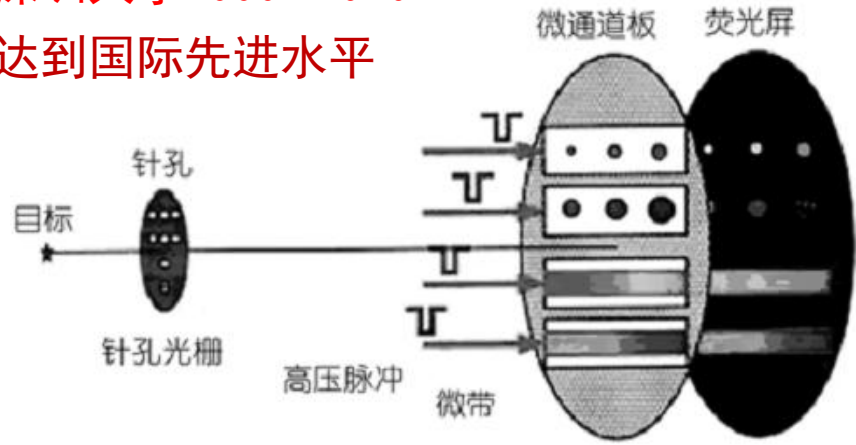
- ✓ 反光镜机械运动、空间换时间分辨
- ✓ 大画幅、大画幅数、高空间分辨率、宽光谱波段
- ✓ 帧频可达 $10^4\text{fps} \sim 10^7\text{fps}$
- ✓ 西安光机所ZDF-20、深圳大学
- ✓ 1960s-2000s, 达到国际领先水平



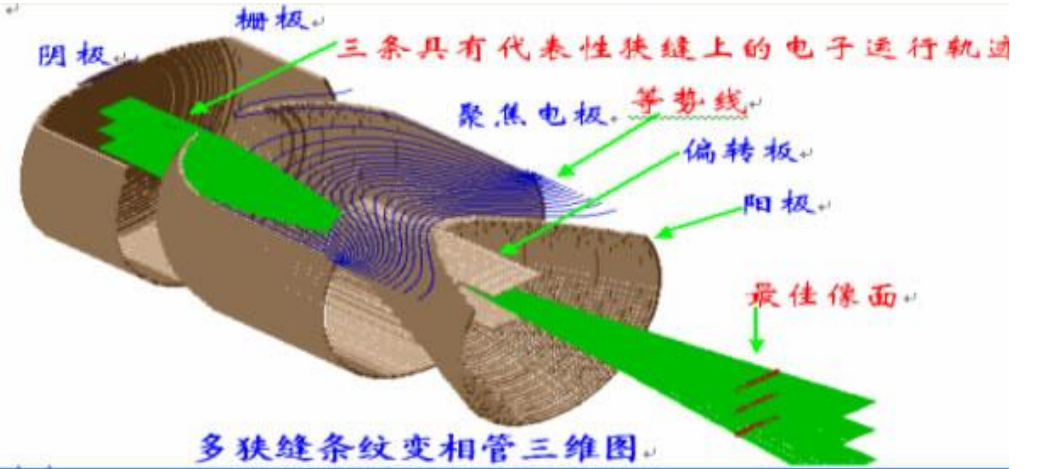
# 一、高速成像概述--系统技术现状

## • 变像管分幅成像

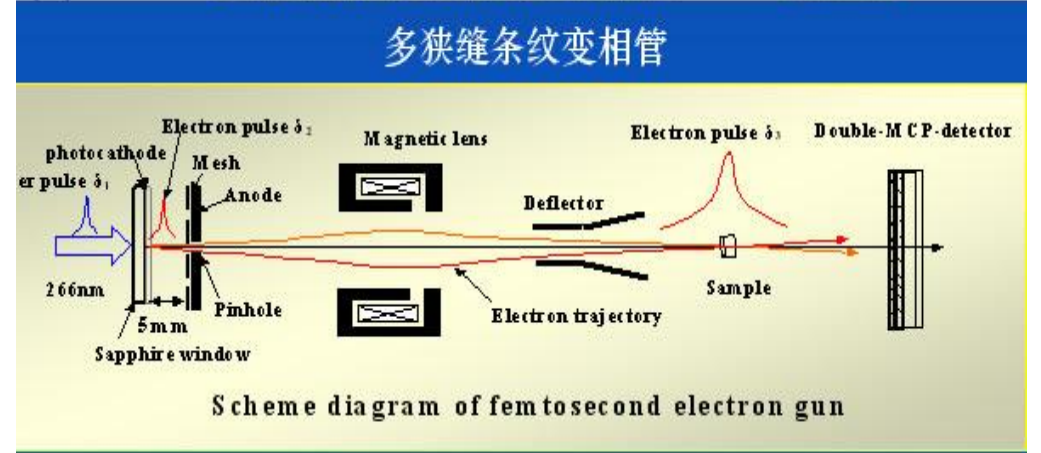
- ✓ 行波选通、分幅变像管
- ✓ 最高可达30ps的时间分辨
- ✓ 西安光机所1990s-2000s
- ✓ 深圳大学2000s-2020s
- ✓ 达到国际先进水平



MCP 行波选通分幅摄影机成像原理图



多狭缝条纹变相管三维图



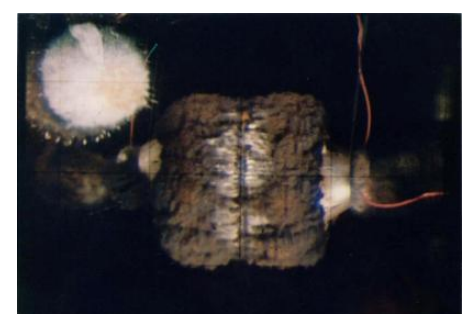
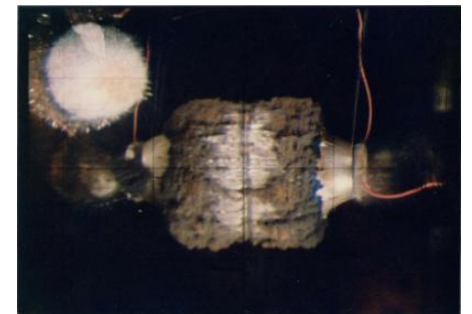
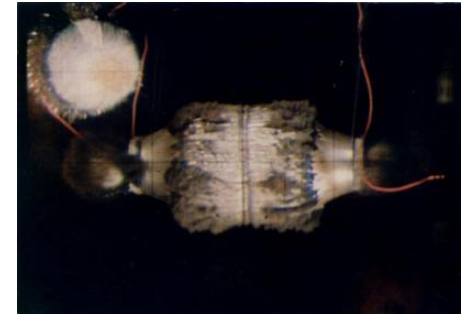
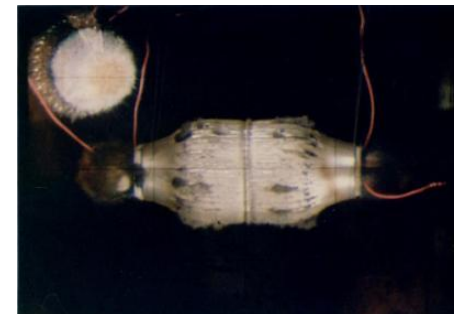
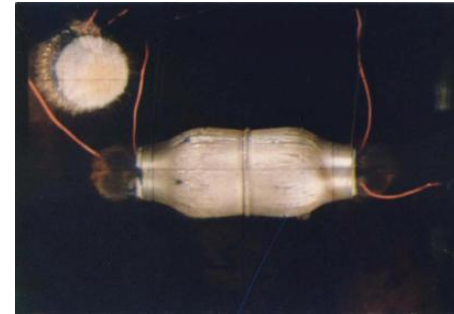
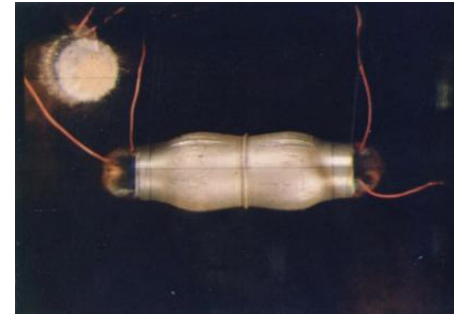
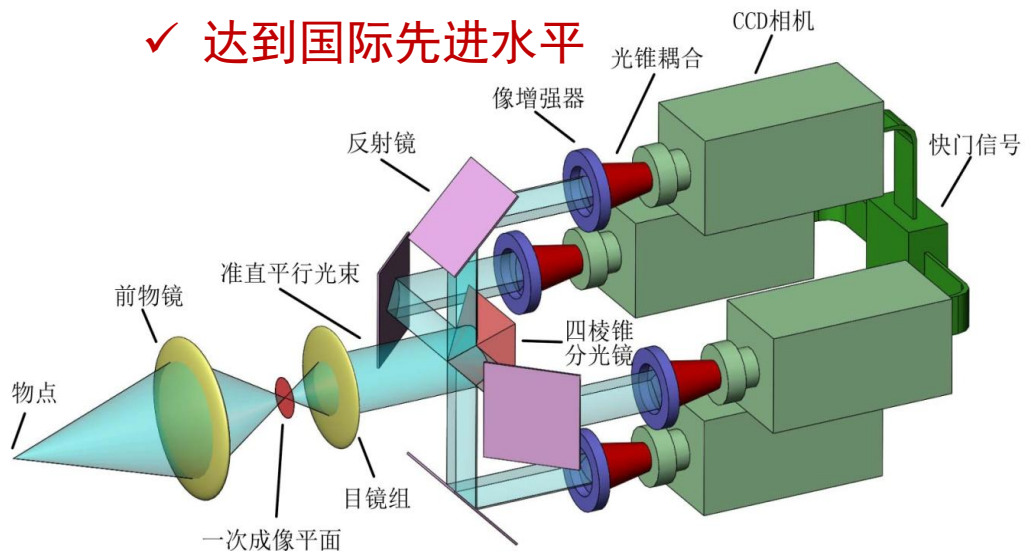
Scheme diagram of femtosecond electron gun

超快电子衍射仪

# 一、高速成像概述--系统技术现状

## • 光学分幅式成像系统

- ✓ 光学分幅系统、亚纳秒时间分辨
- ✓ 多通道ICCD/ICMOS相机组成
- ✓ 西安光机所2000s
- ✓ 西北核技术研究院2000s-2020s
- ✓ 达到国际先进水平

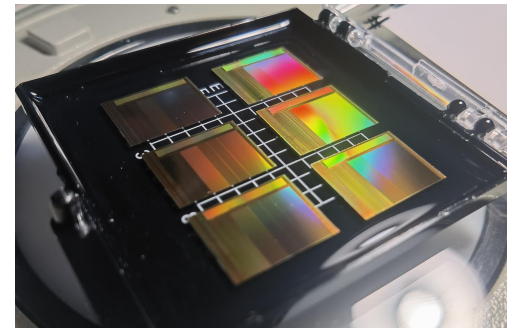
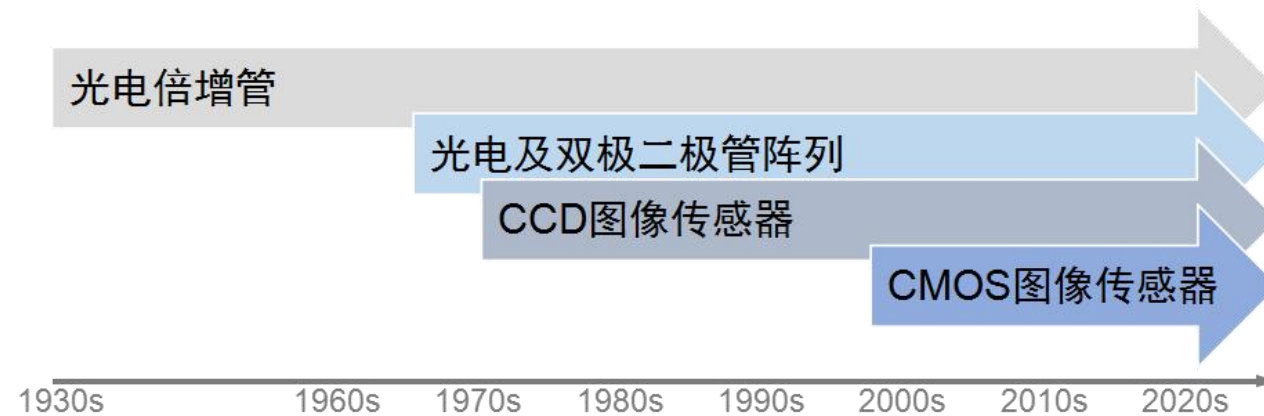




# 一、高速成像概述--系统技术现状

## • 全固态高速相机--CCD/CMOS

- ✓ 无需复杂机械结构或真空器件
- ✓ 帧频可达 $10^4\text{fps} \sim 10^8\text{fps}$
- ✓ 记录画幅：数十~数百幅
- ✓ 依赖**半导体加工工艺**和**芯片设计技术**
- ✓ 国外发展较快、国内研究滞后



# 一、高速成像概述--系统技术现状

## ➤全固态超高速成像系统构成

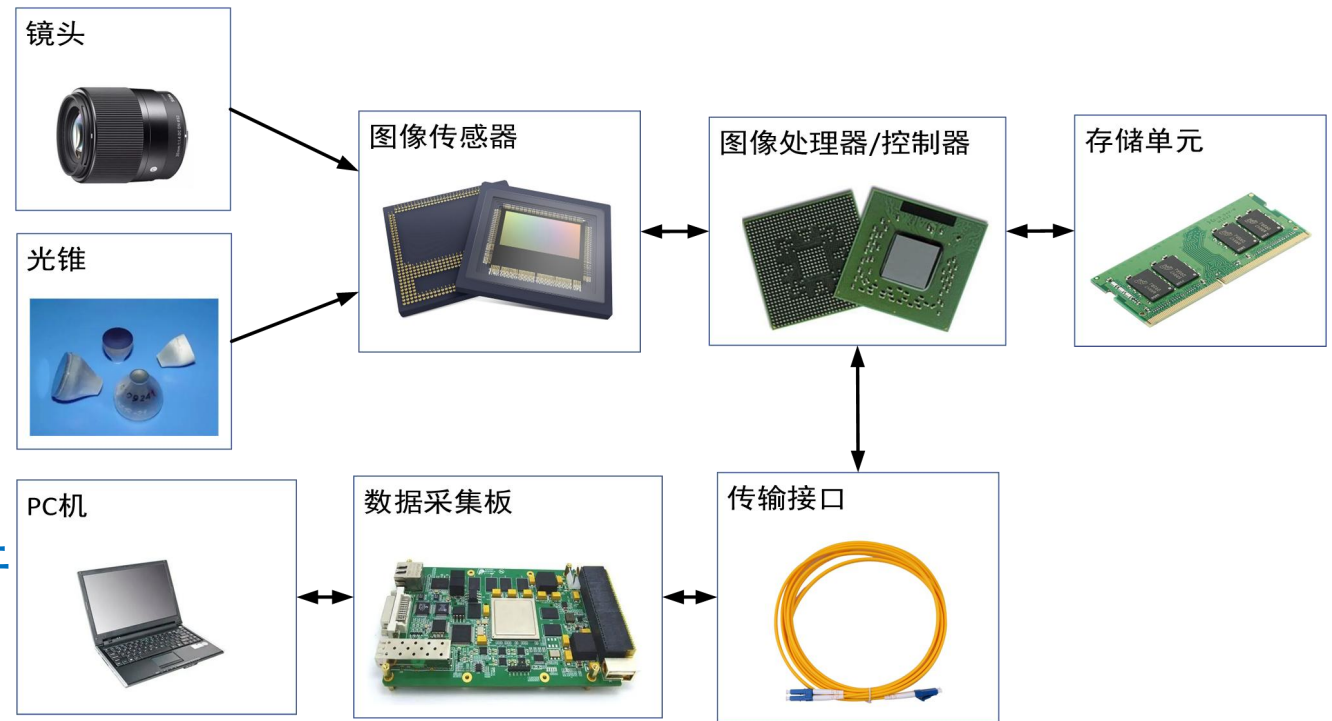
✓光学镜头

✓特种图像传感器芯片

✓电子学系统

✓FPGA、CPU、存储芯片等

✓计算机硬件及操作系统软件



超高速成像系统主要部件及构成

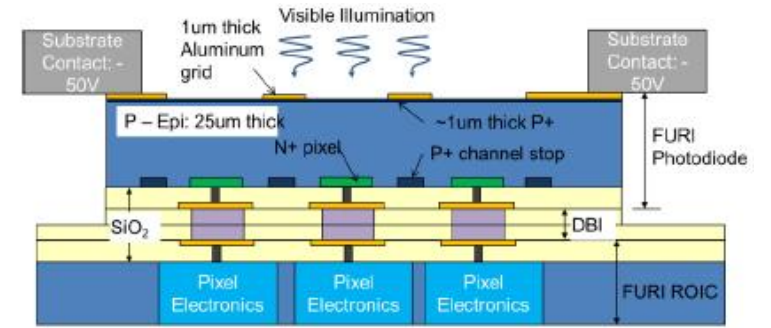
# 一、高速成像概述--系统技术现状

美国、英国、日本技术领先，最高帧频率达10亿帧每秒

## 美国

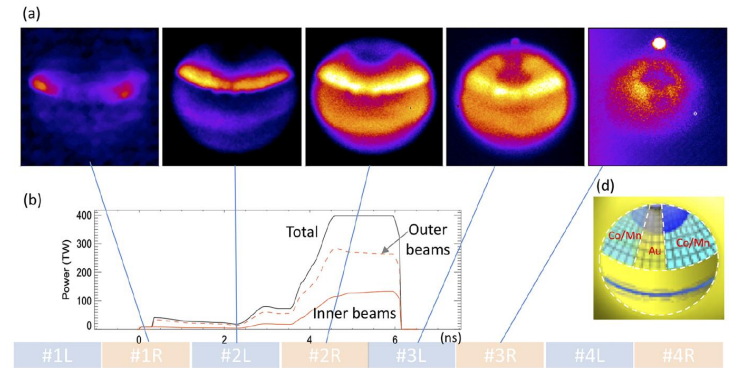
- Sandia国家实验室 (SNL) 的Ultrafast X-ray Imaging, UXI项目
- **Hybrid CIS**: 光电二极管和电路采用不同工艺，通过DBI技术连接
- 1024×512, 1.2ns, 连续获取4帧图像
- 目标:
- **1ns时间分辨**
- **16幅图像**
- **512×512**

	FY14	FY15	FY16	FY17	FY18	FY19	FY20
Camera Systems	FURI 2 Frame 1.5ns	HIPPOGRIF 2 Frame 1.5ns Interlacing	ICARUS 4 Frame 1.5ns Interlacing	Daedalus 3 Frame 1.5ns Interlacing	Horus 8 Frame 1.5ns	Acca 8 Frame 1-ns	Acca2 16 Frame 1ns
Radiation Sensors	1-6keV X-ray & Visible		4keV Electron		GaAs High Energy X-ray		
Applications	Visible Imaging	Gated Pinhole Z and NIF	Backlighting Z	Pinhole SLOS Omega	KB SLOS2 NIF	Focusing Xtal SLOS Z	Wolter Z



DBI工艺

	'High' Full Well Sensors			'Low' Full Well Sensors	
	In Use		New Design	In Testing	
	Furi	Hippogriff	Daedalus	Icarus	Acca (test chip)
Year	FY14	FY15	FY17	FY16	FY18
Min. Gate	~1.5 ns	~2 ns	~1.0 ns	~1.5 ns	~1 ns
Frames	2	2 (full resolution) 4 or 8 (Row interlaced)	3 (full resolution) 6+ (Row interlaced)	4 (full resolution) 8 (L/R interlaced)	8
Tiling Option	No	No	One Side	No	Linear Tiling
CMOS Process	350 nm (SNL)		350 nm (SNL)	350 nm (SNL)	130 nm (G.F.)
Pixels	448 x 1024		512 x 1024	512 x 1024	512 x 512
Pixel Size	25 μm x 25 μm		25 μm x 25 μm	25 μm x 25 μm	
Capacitor Full Well	1.5 million e <sup>-</sup>		1.5 million e <sup>-</sup>	0.5 million e <sup>-</sup>	



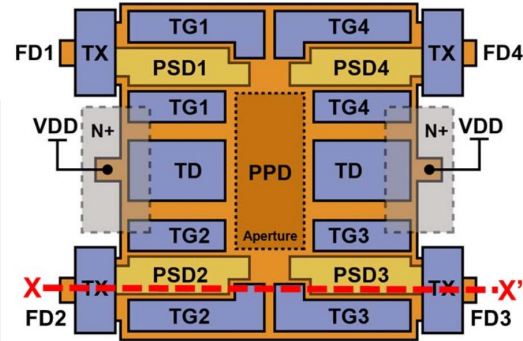
实验图像

# 一、高速成像概述--系统技术现状

美国、英国、日本技术领先，最高帧频率达10亿帧每秒

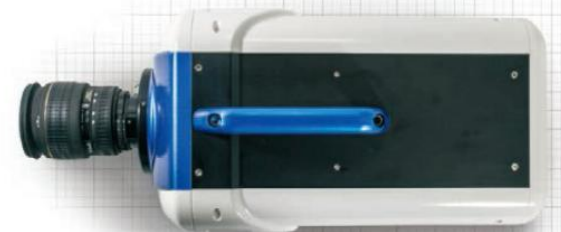
## 日本

- 高性能CCD/CMOS
- 1991年，4500fps
- 2001年，1Mfps
- 2011年，16Mfps
- 2013年，20Mfps
- 2018年，LIP结构，0.8ns
- 2022年，编码，303Mfps
- 芯片及系统对外禁售
- Shimadzu公司，HPV-X、HPV-X2



## 英国

- CMOS-CCD融合工艺
- 2013年，5Mfps,700k
- 2016年，10Mfps
- 2020年，20Mfps
- Specialized Imaging公司基于该传感器推出了Kirana相机
- 芯片对外禁售

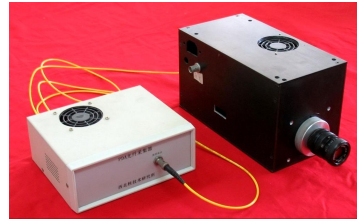


# 一、高速成像概述--系统技术现状

- 超高速成像系统在超快过程研究中应用广泛，是开展超快过程物理研究的一个基础性仪器
  - 国内在转镜相机、分幅相机、ICCD/ICMOS相机方面达到国际先进水平
  - 在全固态成像器件研制技术方面，明显落后于国外
  - 超高速图像传感器芯片研制方面，国内基本处于技术空白
- 为什么发展超高速成像技术
  - 科学实验研究需要
  - 国内没有且国外不提供
  - 必须走自主研发之路

## 二、超高速成像系统研制进展--技术发展历程

我院高速成像技术是随着应用需求而建立和发展的，已有近40年的历史，从最初的系统功能实现逐步发展到特殊性能开发、核心器件自主设计的技术能力，形成了研究院独具特色的学科方向。



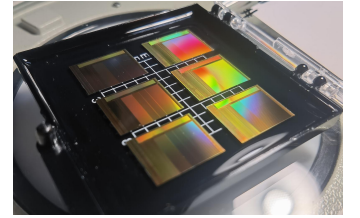
1983年



2003年



2015年



2022年

从无到有  
完善功能  
基本需求

丰富种类  
性能提升  
设备替代

定制开发  
器件研制  
自主可控

## 二、超高速成像系统研制进展--超高速成像主要应用

- 主要应用方向
  - 脉冲辐射场测量
  - 高能量密度物理实验研究
  - 超高速冲击力学研究
- 特殊性能需求



## 二、超高速成像系统研制进展

### ➤ 系统研制

- 研制了系列高速瞬态相机
- 大量应用于科学实验研究
- 实现了关键设备自主研制

- ◆ 高速实时ICMOS相机
- ◆ 高分辨ICMOS相机
- ◆ 科学级IsCMOS相机
- ◆ 小型ICCD相机
- ◆ 高灵敏度IEMCCD相机





# 二、超高速成像系统研制进展

## ➤ 高速实时ICMOS相机

- 国际上2015年没有可用相机
- 2017年才出现高帧频ICMOS产品
- 8-10位量化精度
- 不能远程实时传输
- 无法直接应用

Lambert

### CAMERA SPECIFICATION

Maximum resolution (pixels)	1280 x 1024		
Resolution (pixels)	1280 x 1024	800 x 600	512 x 512
Frame rate (fps)	500	1200	2000
Internal memory options	8 or 16 GB		
Pixel size	14 x 14 $\mu\text{m}$		
Computer interface	Gigabit ethernet		
SDK and LabView driver	Optional		
ADC resolution	8 or 10 bit		

### GATING PROPERTIES

Gain Control	√		
Gate control	√		
Shutter control	√	Optional	
Gating pulse width range	40 ns – 2.5 s	< 3 ns – 10 s	10 ns – 2.5 s
Resulting min pulse width (increments)	40 ns (10 ns)	< 3 ns (10 ps)	10 ns (10 ns)
Pulse repetition rate	100 kHz	300 kHz	300 kHz

2015

2017

2015

2017

产地	型号	帧频率	分辨率	动态范围	时间分辨	超快双帧
美国	Phantom Miro M340	800fps	2560 × 1600	-	1us	-
荷兰	HiCam	500fps	1280 × 1024	-	3ns/40ns	-
美国	Phantom Flex4K	938fps	4096 × 2304	-	1ms	-
荷兰	HiCam Fluo	1000fps	1200 × 1200	-	3ns/40ns	-



# 二、超高速成像系统研制进展

## ➤ 高速实时ICMOS相机

- 2015年研制成功并应用
- 首次实现全部关键设备自主研制
- 12bit量化，光纤实时传输

高实时性	图像实时传输时间<0.3ms
双画幅获取	双帧最短间隔100ns
快电子快门	最小电子快门15ns
高时间分辨	最小光快门3ns
大动态范围	线性动态范围>1000倍
高空间分辨	分辨率1280×1024

规格参数	
图像分辨	1280×1024
像素尺寸	6.5 μm×6.5 μm
帧频率	1000帧/秒
特殊模式	2×2binning
数字化精度	12位
光动态范围	56dB
外触发	TTL电平
镜头接口	C接口
传输方式	光纤，远程
数据上传接口	USB2.0
工作温度	-20℃~+40℃
保存温度	-30℃~+65℃
相机尺寸	95mm×96mm×142mm
采集盒尺寸	90mm×47mm×153mm



# 二、超高速成像系统研制进展

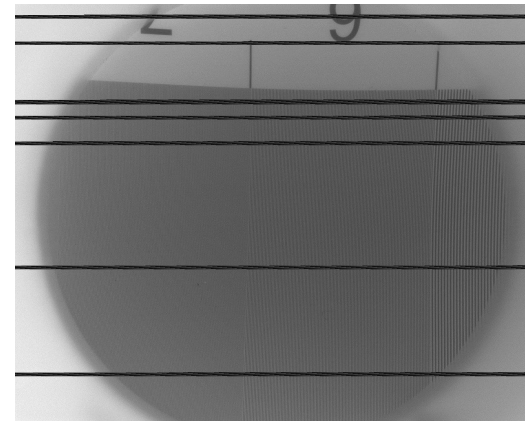
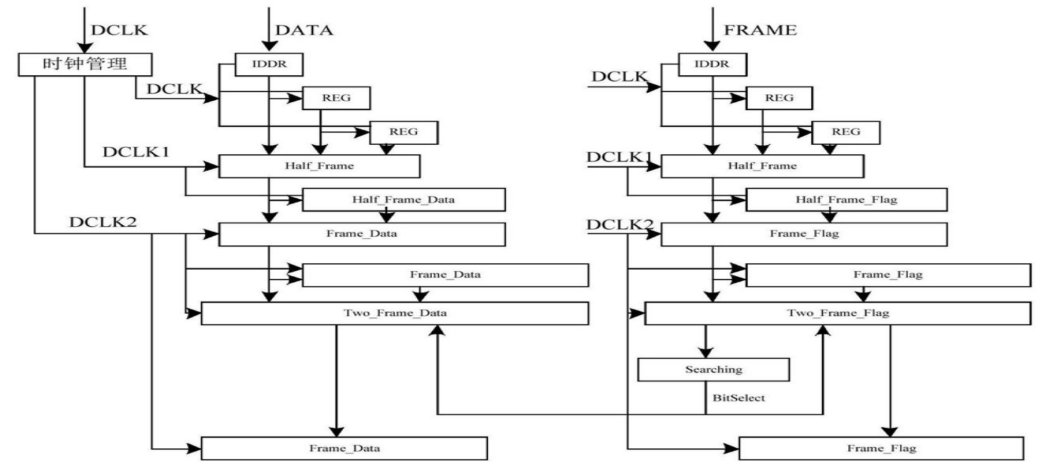
## ➤ 高速实时ICMOS相机

➤ 高实时、高可靠

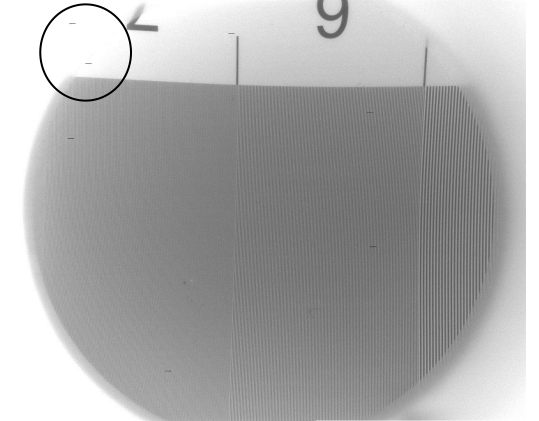
实时远程传输

实时解串锁定

- ✓ 光纤实时远程传输(<0.3ms)
- ✓ 提出一种源同步串行信号的高可靠实时解串方法
  - ✓ 该方法锁定速度快, ~15ns
  - ✓ 常用的训练锁定时间大于10μs(10行)
  - ✓ 解决了在恶劣工作环境下, 高帧频图像稳定可靠获取的难题



训练方式锁定



实时解串锁定

# 二、超高速成像系统研制进展

## ➤ 高速实时ICMOS相机

### ➤ 超快双画幅、大动态范围

单通道两幅图像

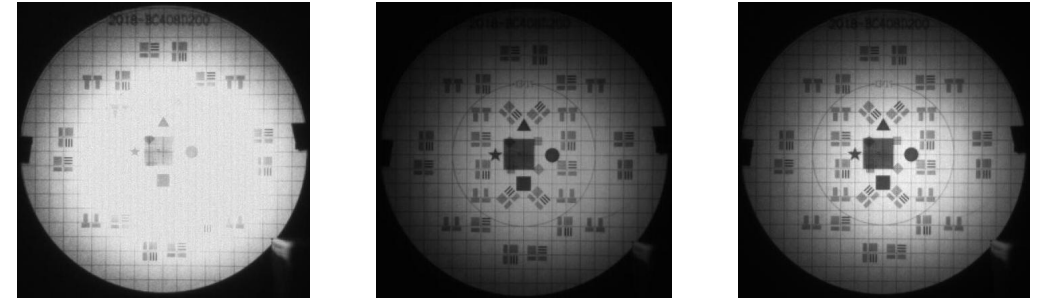
百纳秒双帧间隔

✓ 提出一种**异步驱动方法**，实现双画幅和超快电子快门功能

✓ 一台相机可获取百ns间隔的两幅图像，**成倍提升获取图像数量**

### ➤ 高时间分辨

十纳秒级电子快门



双帧扩展动态范围图像

高实时性	图像实时传输时间<0.3ms
双画幅获取	双帧最短间隔<100ns
快电子快门	最小电子快门15ns
高时间分辨	最小光快门3ns
大动态范围	线性动态范围>1000倍
高空间分辨	分辨率1280×1024

# 二、超高速成像系统研制进展

## ◆ 高分辨高速ICMOS相机

- 2022年研制成功HC2M
- 分辨率1920×1080
- 超快双画幅（100ns间隔）
- 最小20ns电子快门
- 亚毫秒远程图像获取

## ◆ 科学级IsCMOS相机

- 2020年研制成功
- 分辨率2048×2048
- 高灵敏度、低噪声
- 系统动态范围大于90dB
- 线性动态范围大于3000倍



HC2M相机性能参数

分辨率	1920×1080
像素尺寸	10μm×10μm
时间分辨	3ns
量化位数	12bits
图像获取时间	2ms
特殊功能	超短曝光、超快双帧、双帧大动态

IsCMOS相机性能参数

有效像素数	2048×2048
帧频率	43fps
量化位数	~16bit
满阱容量	54Ke <sup>-</sup>
噪声	1.6 e <sup>-</sup>
动态范围	90dB



## 二、超高速成像系统研制进展

### ➤ 小型化ICCD相机

- ✓ 2015年研制成功
- ✓ 动态范围：64dB
- ✓ 小型化：便于系统集成
- ✓ 帧频率：30fps
- ✓ 远程光纤传输
- ✓ 主要用于分幅相机研制



### 规格指标

图像分辨	1360×1024
像素尺寸	6.45μm×6.45μm
灵敏度	<0.05lux
数字化精度	16位
光动态范围	64dB
帧频率	30帧/秒
单帧曝光时间	2μs ~ 1s
外触发	TTL电平
镜头接口	C接口
传输方式	光纤, 远程
数据上传接口	USB2.0
工作温度	-20°C ~ +40°C
保存温度	-30°C ~ +65°C
相机尺寸	50mm×58mm×155mm
采集盒尺寸	120mm×38mm×150mm

## 二、超高速成像系统研制进展

### ➤ 高灵敏度IEMCCD相机

- ✓ 2017年研制成功并应用
- ✓ 大动态范围：72dB
- ✓ 高灵敏度： $10^{-6}\text{lux}$
- ✓ 创新提出瞬态逻辑时序
- ✓ 达到国际先进水平

	IEMCCD系统	国内ICCD系统	Andor ICCD
像增强器	Ø25mm	Ø18mm	Ø18mm
灵敏度	$<10^{-6}\text{lux}$	$10^{-5}\text{lux}$	$10^{-6}\text{lux}$
动态范围	$>72\text{dB}$	50dB	$>70\text{dB}$
分辨率	$1024 \times 1024$	$512 \times 512$	$1024 \times 1024$
快门	3ns	3ns	2ns
噪声电子	$<1e^{-}$	$20e^{-}$	$2.9e^{-}$
数据传输	光纤 $>10\text{km}$	光纤 $>10\text{km}$	近端 $<10\text{m}$
参数调节	远程程控	近端	近端程控

## 二、超高速成像系统研制进展

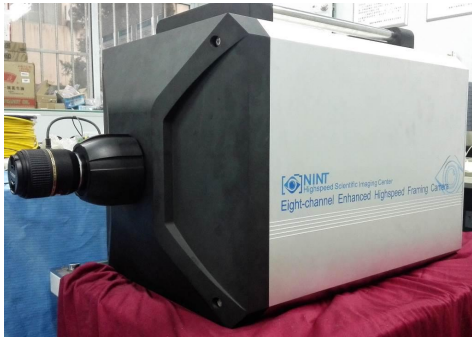
- 实验室条件下的超快过程图像诊断
  - ✓ 脉冲激光器、脉冲射线源、脉冲功率装置、氢气炮等
  - ✓ 特点：可重复、非破坏、强干扰
  - ✓ 研制的主要设备：**系列分幅相机**
  - ✓ 特点：**光电融合分幅、快时间响应、系列化、可定制**
  - ✓ 应用目标：微波效应、流场诊断、开关放电、Z-pinch等



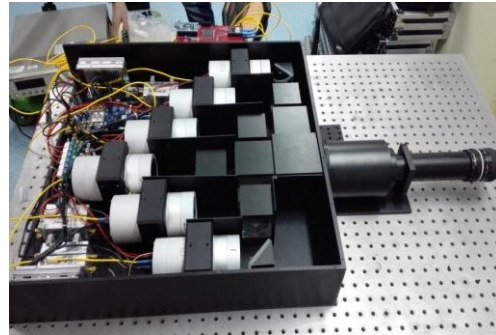
## 二、超高速成像系统研制进展

➤ 研制了系列光电融合分幅相机

光电融合分幅



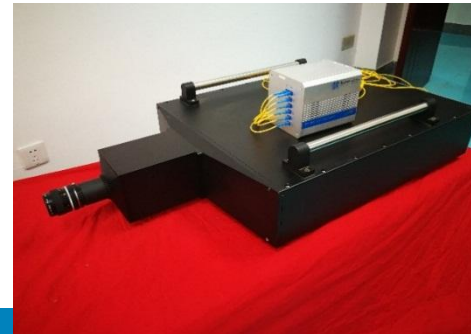
快时间响应



系列分光技术



定制射线成像系统



# 二、超高速成像系统研制进展

## ➤ 光电融合分幅

### ✓ 光学分幅问题

✓ 光强衰减

✓ 画面不一致

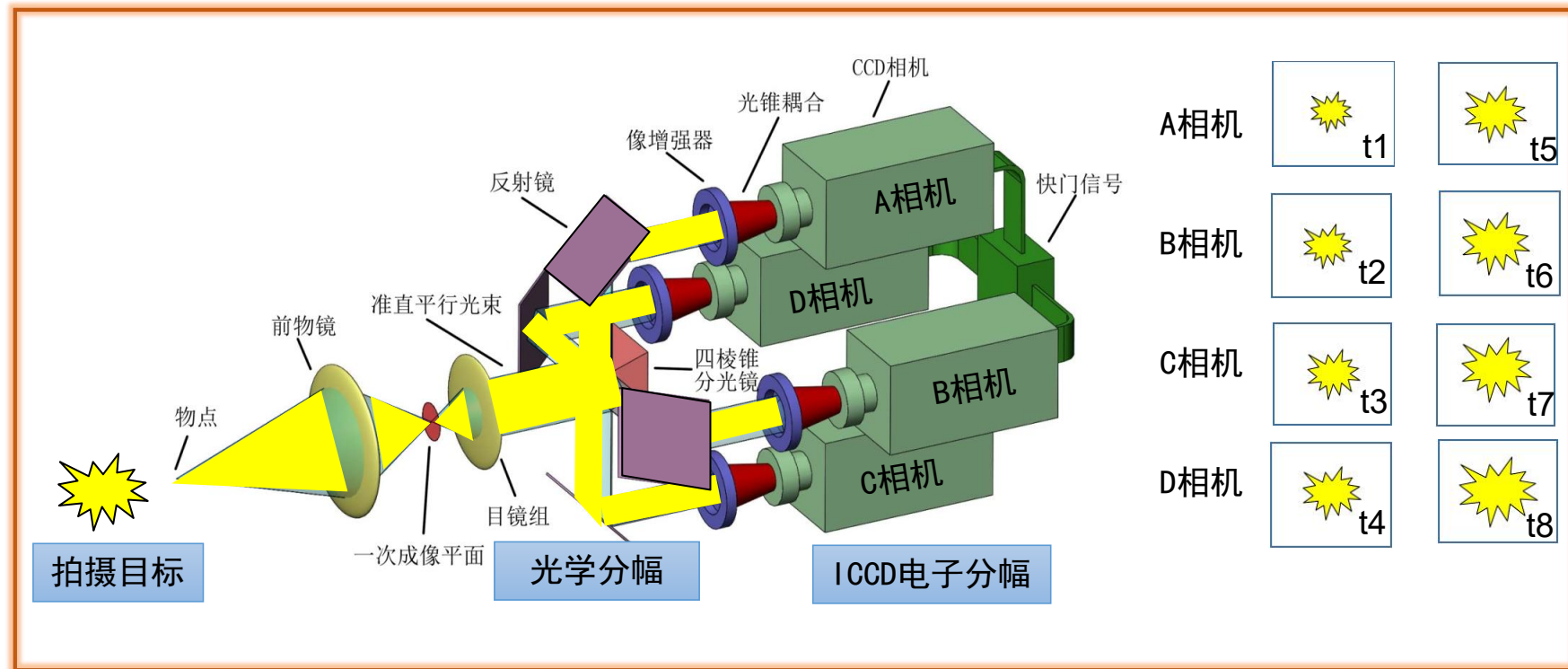
### ✓ 电子分幅优势

✓ 同一视场

✓ 减少光学通道数

✓ 增加获取图像画幅数

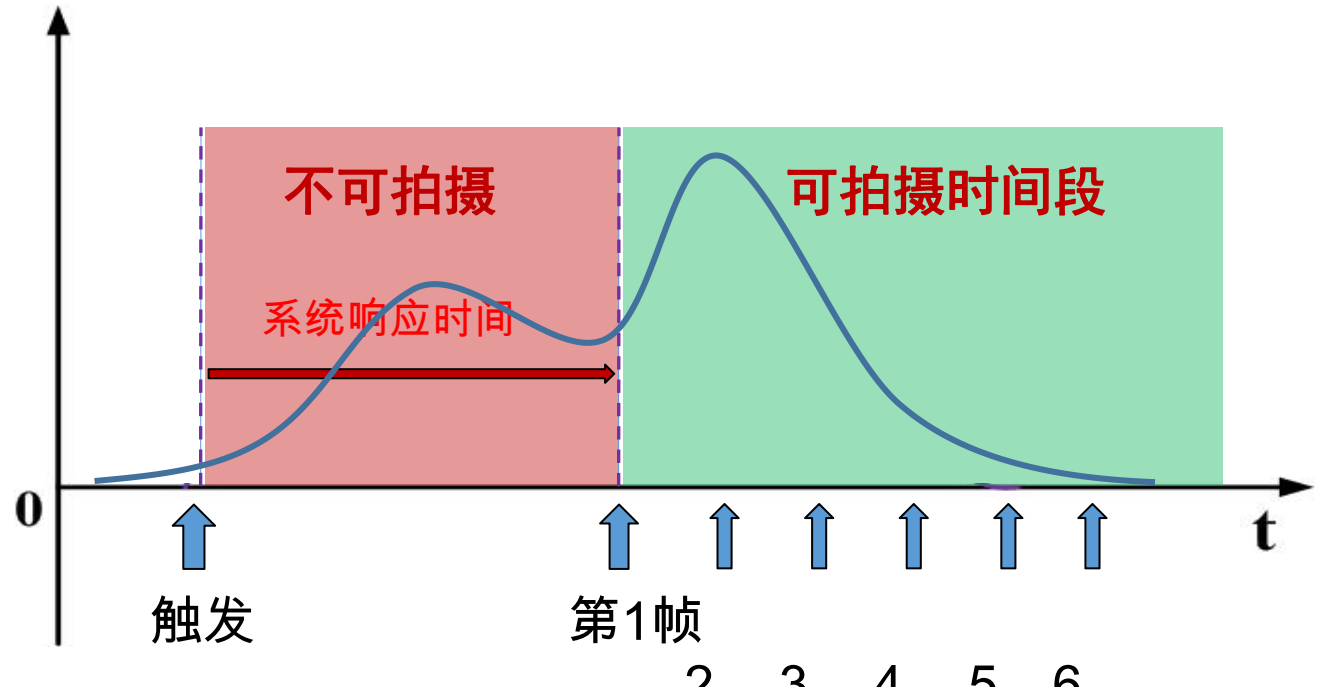
✓ 过程图像更加精细、准确



# 二、超高速成像系统研制进展

## ➤快时间响应

- ✓响应时间13ns
- ✓远高于同类产品水平
- ✓可拍摄早期图像

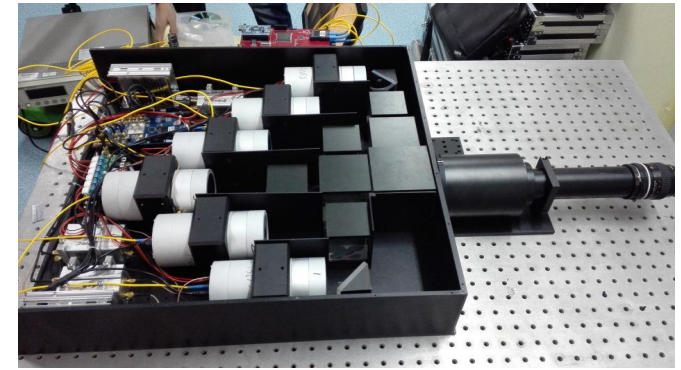
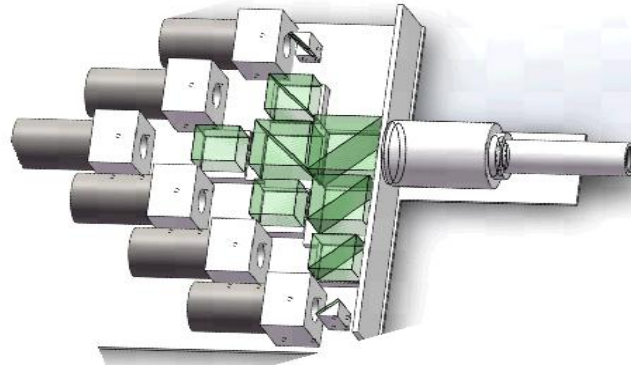
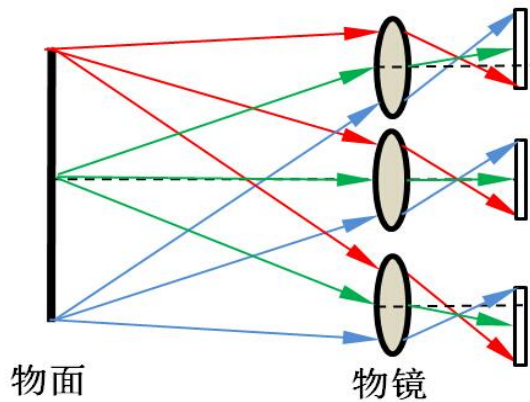
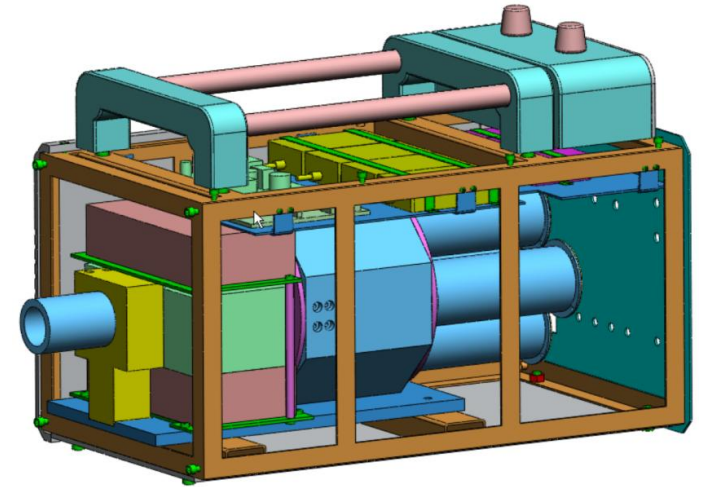
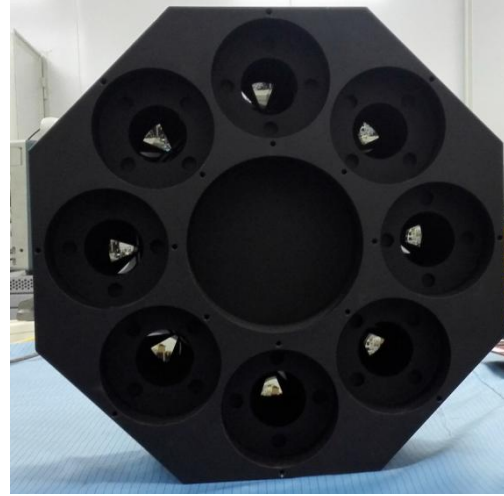
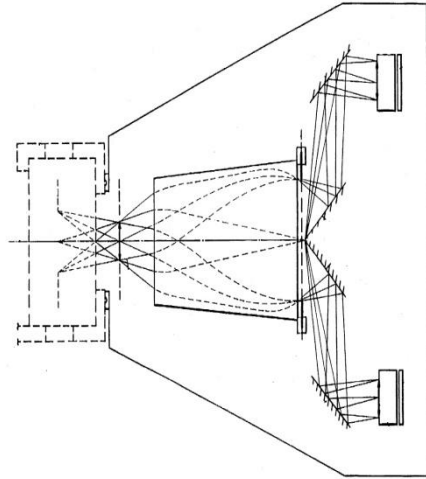


参数类别	自研分幅相机	PRO(约克)	SIM02(SI)	IMACON200(DRS)
系统响应时间 (ns)	13	125	50	50
最小曝光时间 (ns)	2 (2ns步进)	3 (5ns步进)	5 (5ns步进)	5 (5ns步进)
帧间隔时间 (ns)	2ns步进	5ns步进	5ns步进	5ns步进

# 二、超高速成像系统研制进展

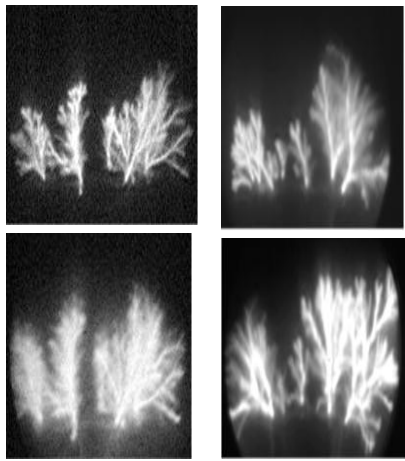
## ➤ 系列分光技术

- ✓ 棱锥式分光
- ✓ 离轴分光
- ✓ 棱镜分光

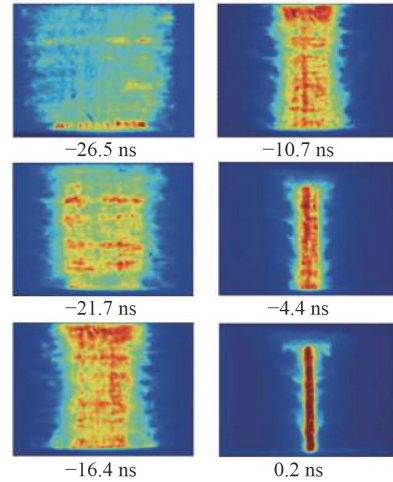


## 二、超高速成像系统研制进展

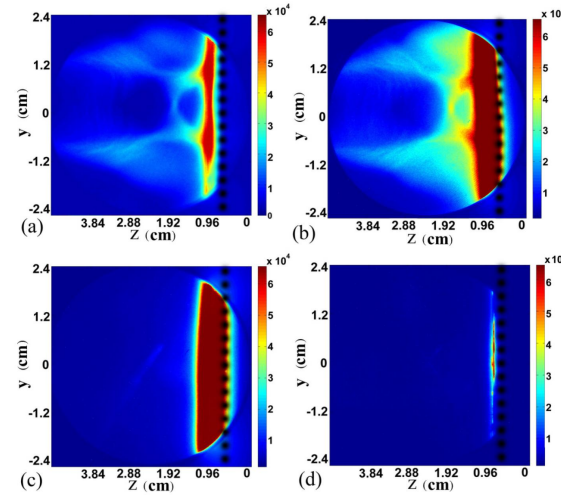
➤ 配合开展了多学科高速瞬态物理成像实验



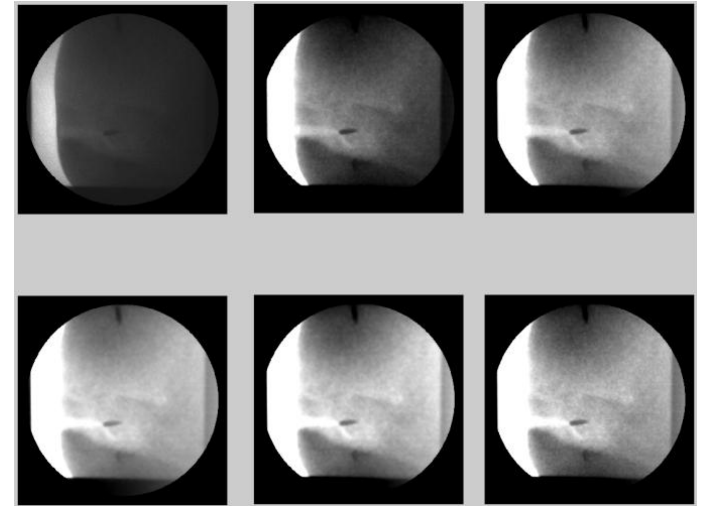
高压开关放电



等离子体实验



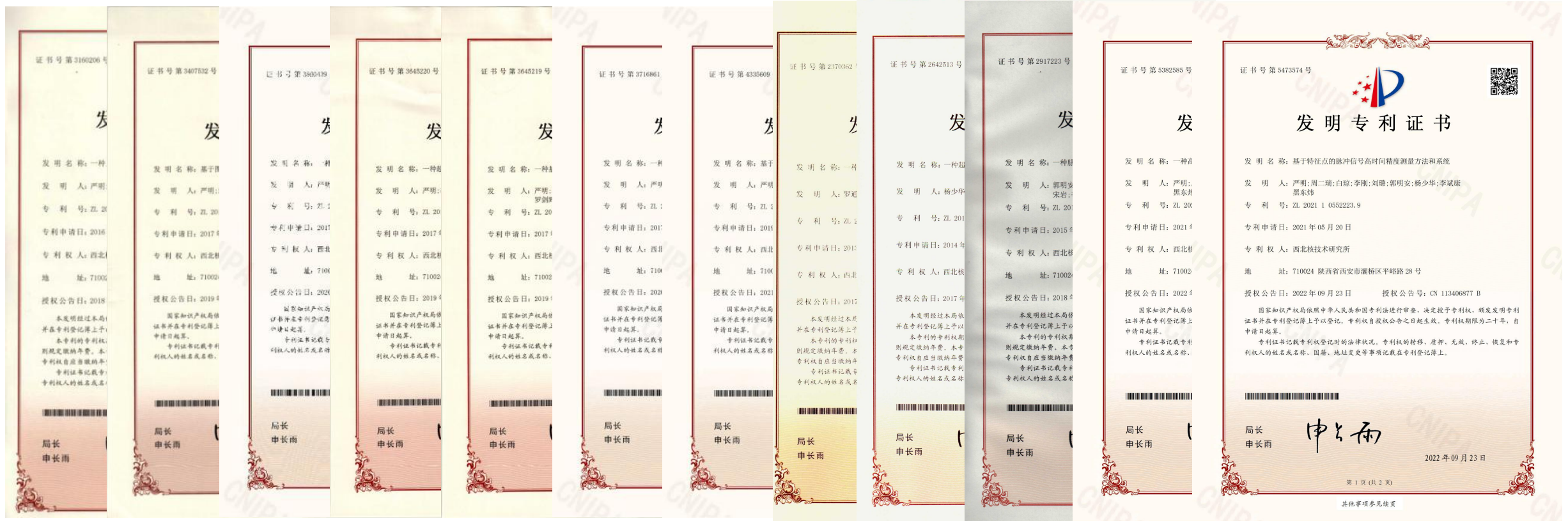
高功率微波效应



高重频X射线成像



# 二、超高速成像系统研制进展--近年来取得成果



获部委级科技进步一等奖三项、授权发明专利20余项



# 三、系统自主可控与器件研制进展

## ➤ 研究院超高速成像系统技术发展现状

- ✓ 特色：ICCD/ICMOS相机和光电融合分幅相机完全自主研制
- ✓ 优势：成像设备完全自主研制，可根据需要定制系统功能和性能指标，有利于物理测试系统优化设计，获得更精细、更高质量的测试图像。
- ✓ 问题：系统关键电子元器件（图像传感器、FPGA、CPU等）和基础操作系统软件（WinXP、Win7），存在“卡脖子”风险和安全隐患！

# 三、系统自主可控与器件研制进展

## ➤超高速成像系统构成及自主可控分析

✓光学镜头（国产）

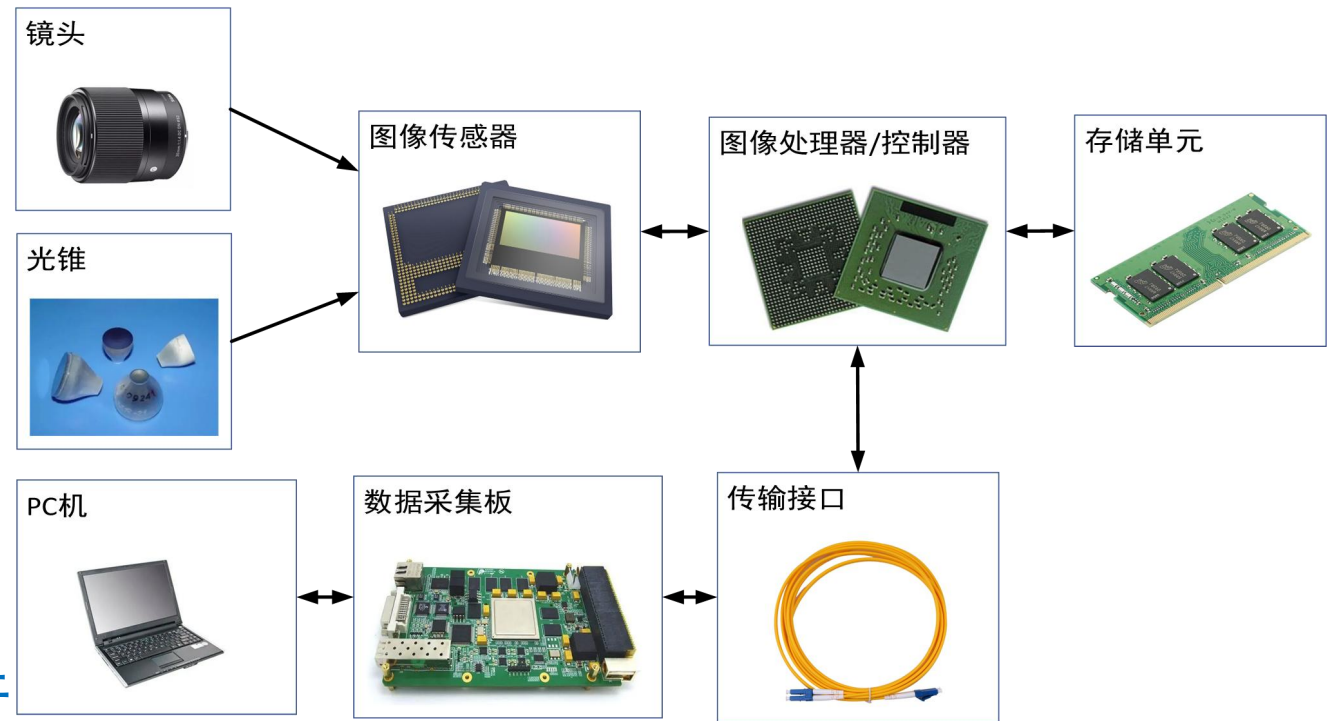
✓像增强器（国产）

✓特种图像传感器芯片

✓电子学系统

✓FPGA、CPU、存储芯片等

✓计算机硬件及操作系统软件

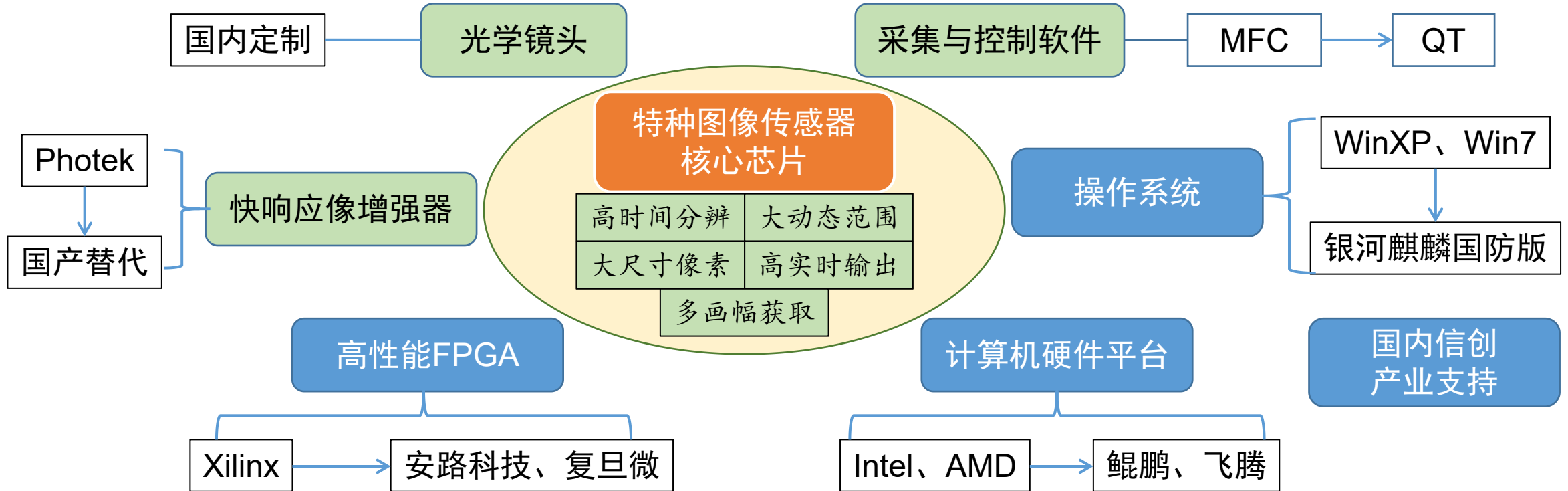


超高速成像系统主要部件及构成



# 三、系统自主可控与器件研制进展

## ➤超高速成像系统完全自主可控进展



# 三、系统自主可控与器件研制进展

## ➤ 超高速图像传感器芯片的特殊之处

### ➤ 基于特殊半导体工艺：CIS工艺

- 特殊晶圆（不同电阻率要求）、特殊掺杂和注入、特殊加工流程（光刻掩膜大于30层）
- 对光刻制程要求较低，0.18 $\mu\text{m}$ -90nm
- 对工艺参数优化要求较高：像素（光二极管）工艺、特殊晶体管工艺、片上存储（电容）工艺

工艺	光刻精度	掩膜层数	设计方法	设计目标	特殊要求
数字电路工艺	28nm-5nm/3nm	20~30	标准单元库 自动综合	更高时钟频率 更高集成度 更低功耗	-
CIS工艺	0.18 $\mu\text{m}$ -90nm	>30	全定制设计 混合信号仿真	更高转移速度 更低噪声 更大带宽	高密度电容 特殊阈值晶体管 特殊沟道晶体管

# 三、系统自主可控与器件研制进展

## ➤ 超高速图像传感器芯片的特殊之处

➤ 典型特点：**光电器件+模拟电路+模数混合电路+高速数字电路**

➤ 高速大像素工艺设计优化：**需要半导体厂的设备及技术支持**

➤ 高速低噪声模拟信号处理：性能优化需要**与像素设计相结合**，同时考虑面积功耗

➤ 高速高精度紧凑型ADC：模数混合、设计复杂度高，**模拟电路“皇冠上的明珠”**

光电器件	模拟电路	模数混合电路	高速数字电路
PPD像素	模拟存储	ADC	控制时序逻辑
PIN像素	采样保持	DAC	高速串行输出
SPAD像素	信号放大	PLL	参数配置接口
PG像素	像素阵列驱动		



# 三、系统自主可控与器件研制进展

## ➤超高速图像传感器芯片自主研发进展

- ✓ 第一阶段：借鉴先进，学习理解
- ✓ 第二阶段：国内外情况调研
- ✓ 第三阶段：正向设计
- ✓ 第四阶段：小规模试制
- ✓ 第五阶段：大规模试制及批量生产

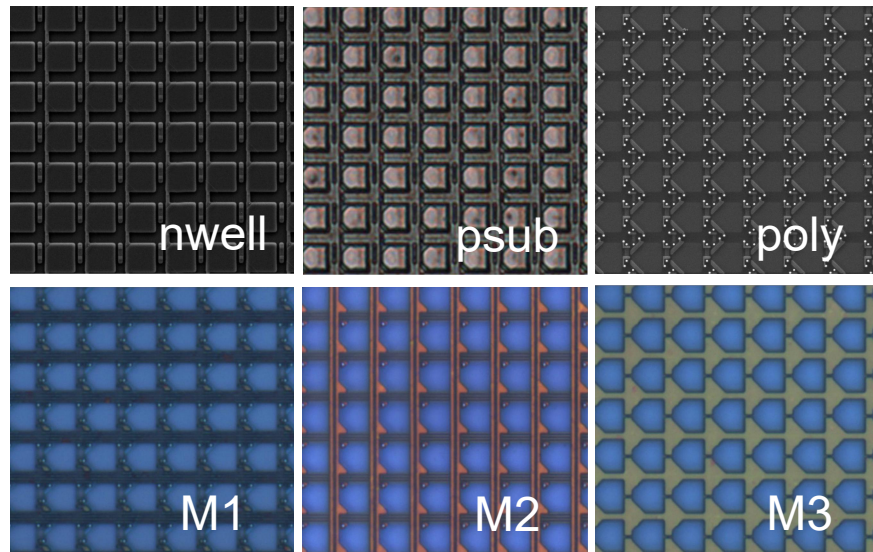
# 三、系统自主可控与器件研制进展

## ➤ 第一阶段：借鉴先进，学习理解

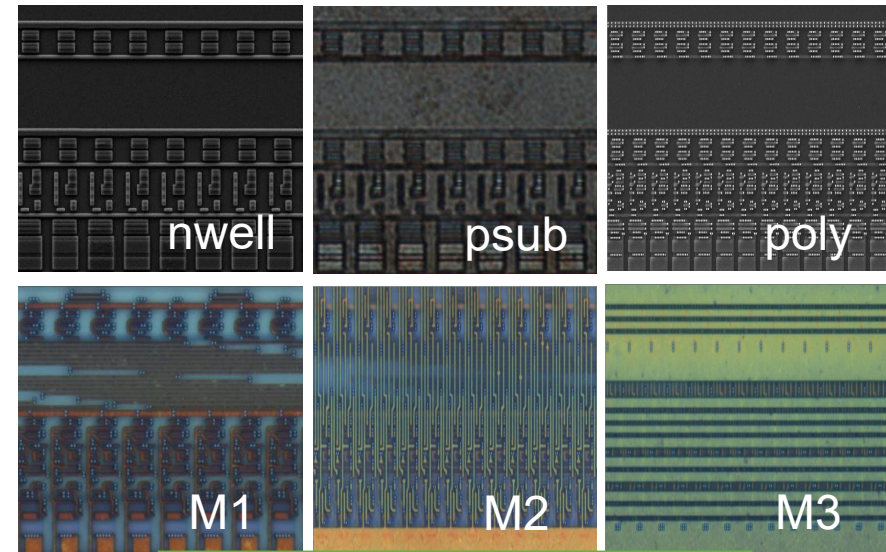
➤ 完成时间：2016年06月-2017年12月

➤ 分析了在用的全局快门型高速CMOS图像传感器：

- 反向剖片，进行像素结构、工艺分析
- 反向电路提取分析，进行模拟信号处理电路结构及性能特征分析



传感器像素阵列芯片分层照片



传感器模拟电路芯片分层照片



# 三、系统自主可控与器件研制进展

## ➤ 第二阶段：调研国内外的应用需求和设计加工情况

➤ 完成时间：2018年01月-2019年06月

➤ 调研内容：

- 国内外特殊**需求单位**：中物院、高能所、大科学装置、RAL、CERN、LLNL、SNL等
- 国内相关**设计单位**：中科院半导体所、长春光机所、航天771所、天津大学及相关公司
- 国内外**工艺制程**：TowerJazz，Xfab，DBH，TSMC，SMIC，HHGrace，合肥晶合，广州粤芯，重庆联合微，长沙楚微等

➤ 调研结论：

- 对**先进制程**要求较低
- 对**工艺优化水平**要求高
- 国外发展较成熟
- 国内需求旺盛但滞后
- **粗放型**→**精细化**

	SMIC	HHGrace	TSMC	DBH	XFAB	Nexchip
工艺节点	0.13μm	0.13μm	0.18μm	0.11μm	0.18μm	90nm
基本制程	1P4M	1P5M	1P6M	1P4M	1P6M	1P4M
标准单元	可用	-	可用	可用	可用	第三方
IO单元	可用	-	可用	可用	可用	无
PCELL库	可用	可用	可用	可用	可用	无
像素设计	规则	规则	4T参考	4T参考	4T参考	无
MIM电容	无	有	有	无	有	无

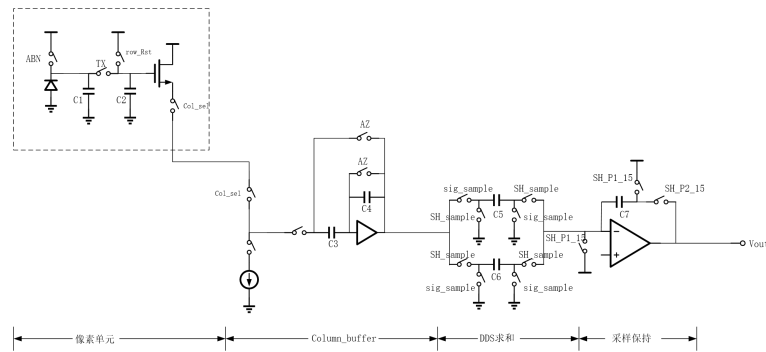
# 三、系统自主可控与器件研制进展

## • 第三阶段：正向设计

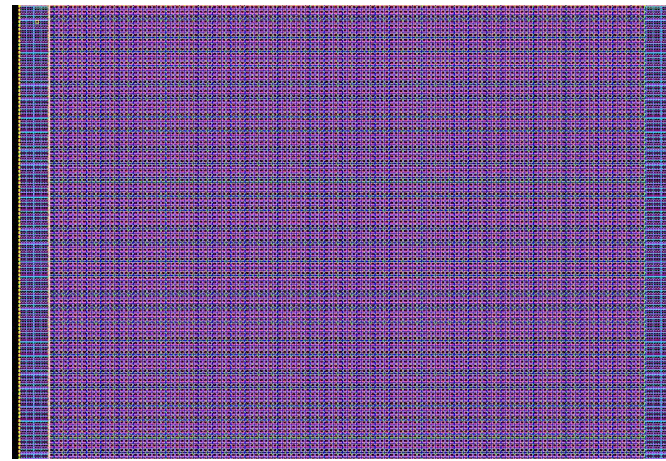
➤ 完成时间：2019年06月-2020年12月

➤ 完成内容：

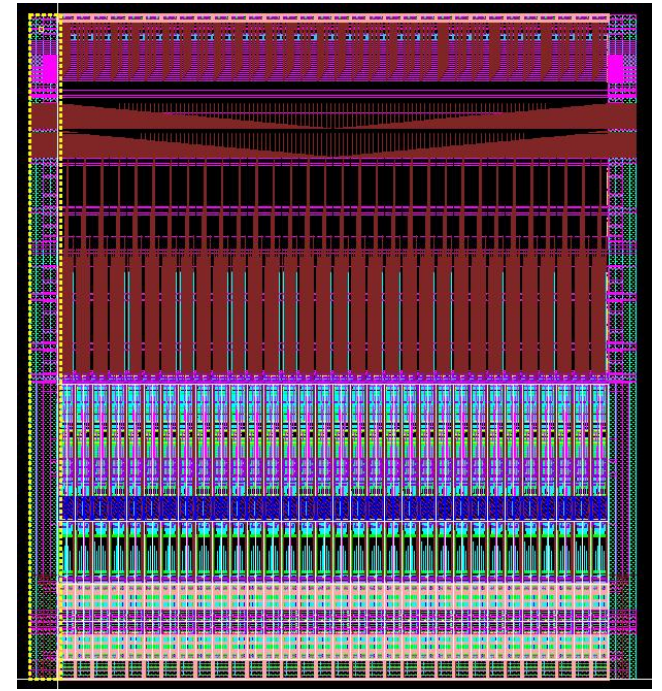
- 基于0.13 $\mu\text{m}$  CIS工艺
- 5T像素结构、模拟输出
- 像素阵列128 $\times$ 128
- 小规模试制受阻（中美半导体贸易战）



像素信号处理电路结构



像素阵列版图设计

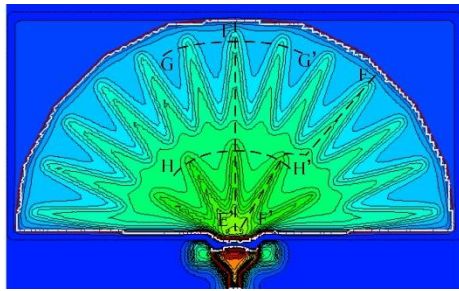


信号处理电路版图设计

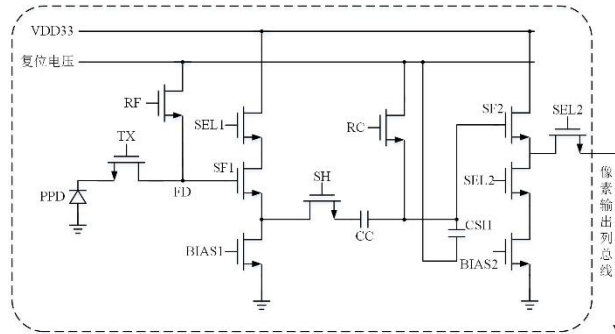
# 三、系统自主可控与器件研制进展

## • 第四阶段：小规模试制-1

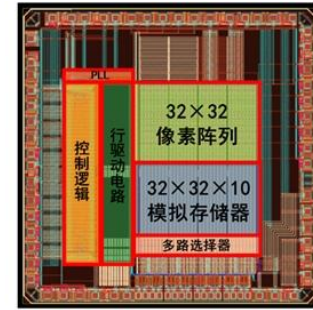
- 完成时间：2020年10月-2022年8月
- 完成内容：
  - 基于0.11 $\mu\text{m}$  CIS工艺,2022年12月返回
  - 像素阵列32 $\times$ 32、256 $\times$ 256
  - 片上存储阵列结构，连续10幅
  - 帧频率10Mfps，最小曝光35ns



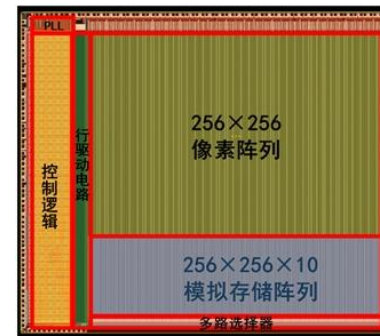
像素结构及仿真



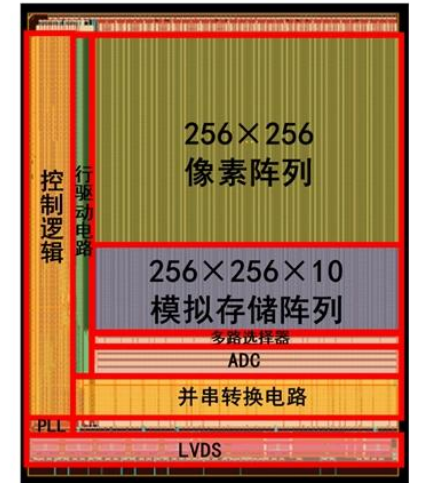
像素电路结构



(a) 32 $\times$ 32模拟输出



(b) 256 $\times$ 256模拟输出



(c) 256 $\times$ 256数字输出

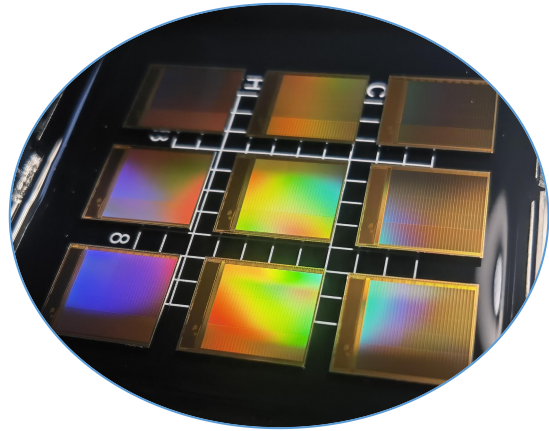
三种传感器芯片版图



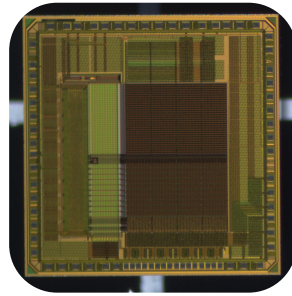
# 三、系统自主可控与器件研制进展

## ➤ 第四阶段：小规模试制-1

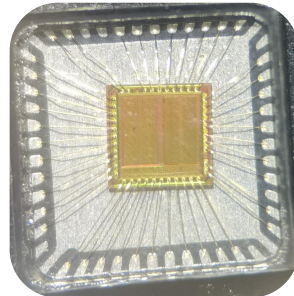
- 部分芯片及测试电路照片



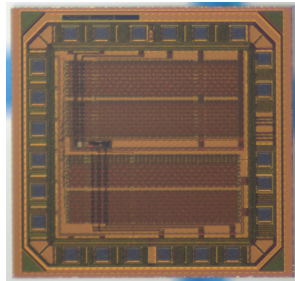
256×256裸片



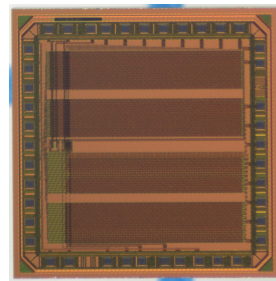
32×32裸片



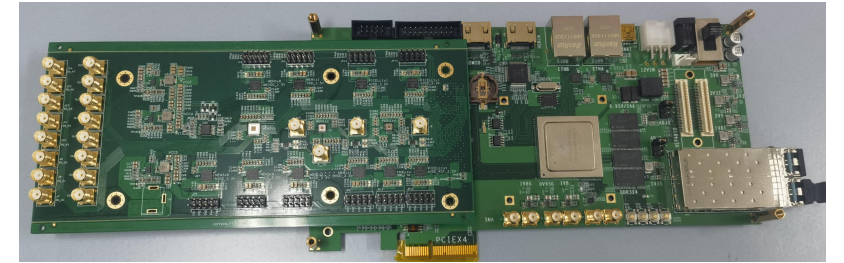
32×32封装后



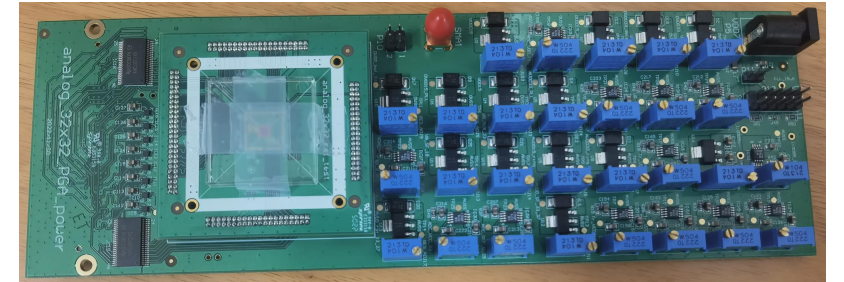
像素单元裸片



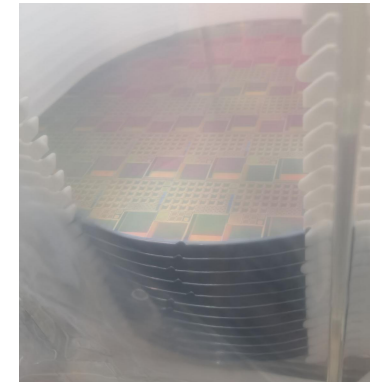
存储单元裸片



功能单元测试板



全芯片测试板



划片前晶圆



划片封装后芯片

# 三、系统自主可控与器件研制进展

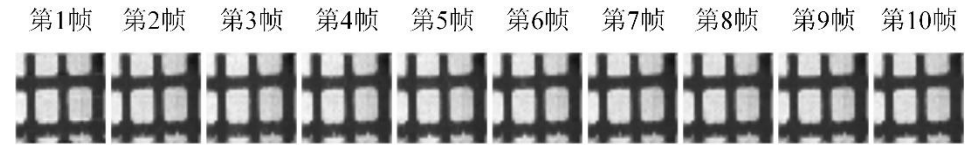
## ➤ 第四阶段：小规模试制-1

### • 部分测试系统照片及测试结果

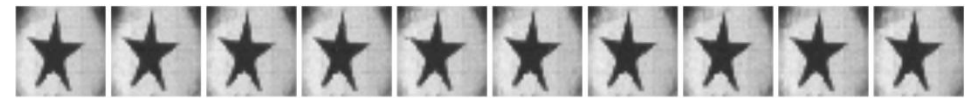
- 功能单元性能测试平台
- 全芯片成像性能测试平台



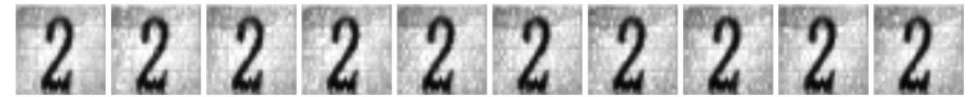
功能单元性能测试平台



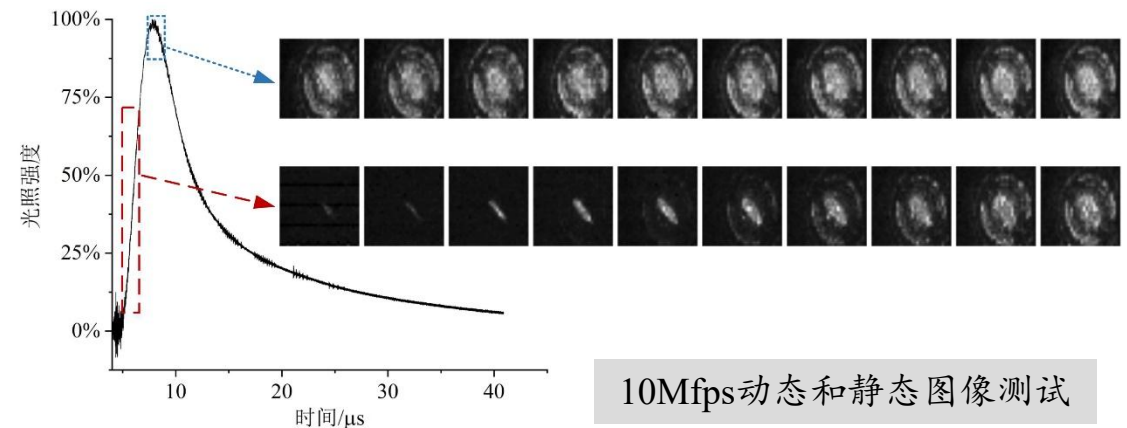
(a) 栅格



(b) 五角星



(c) 数字“2”

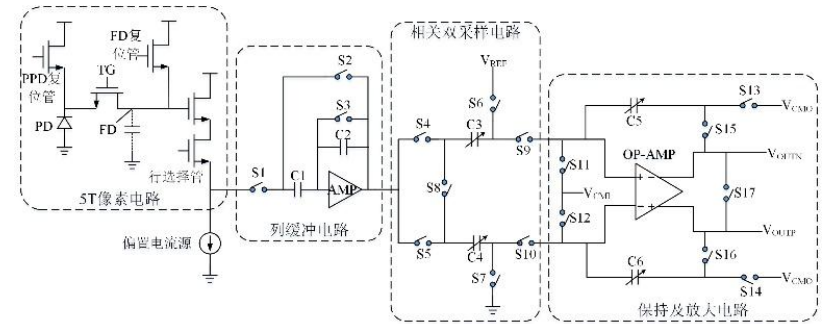


10Mfps动态和静态图像测试

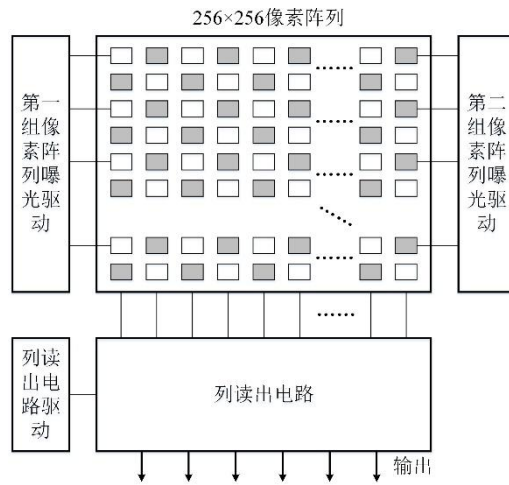
# 三、系统自主可控与器件研制进展

## • 第四阶段：小规模试制-2

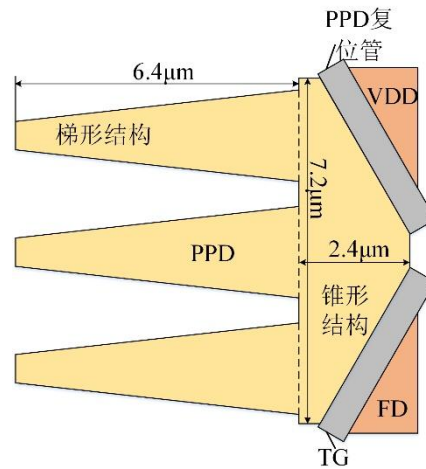
- 完成时间：2022年02月-2022年09月
- 完成内容：
  - 基于0.18 $\mu\text{m}$  CIS工艺，像素阵列256 $\times$ 256
  - 自主设计，交错阵列结构：连续两幅高时间分辨图像
  - 特殊像素结构设计：最小曝光40ns（设计指标）



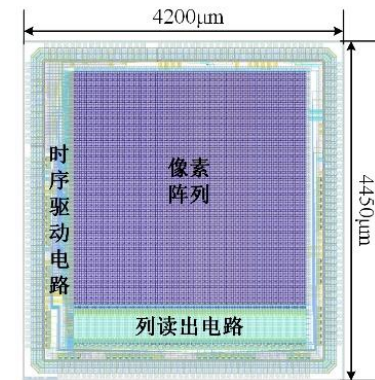
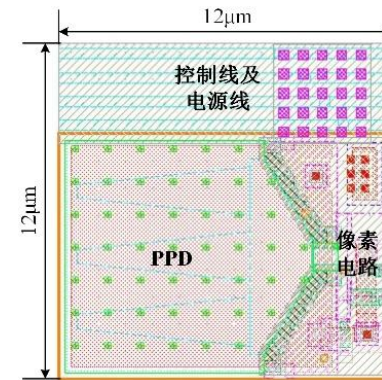
列读出电路



芯片架构



像素结构

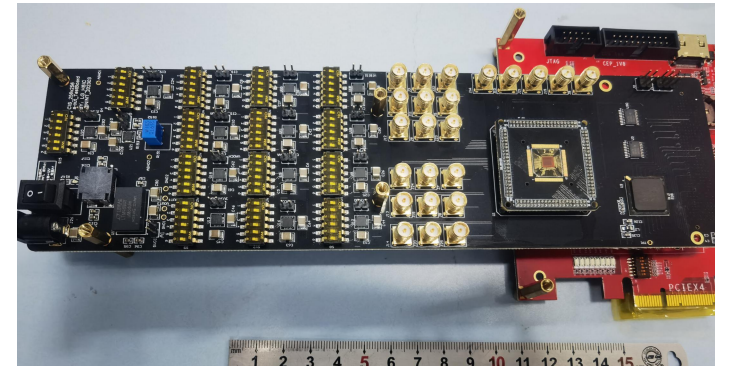


芯片版图

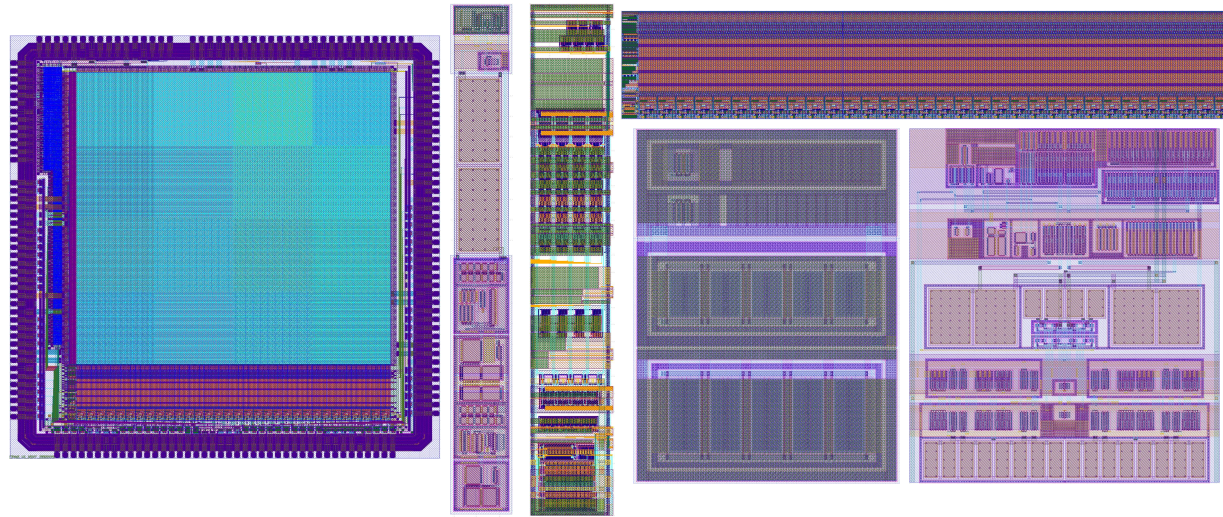
# 三、系统自主可控与器件研制进展

## • 第四阶段：小规模试制-2

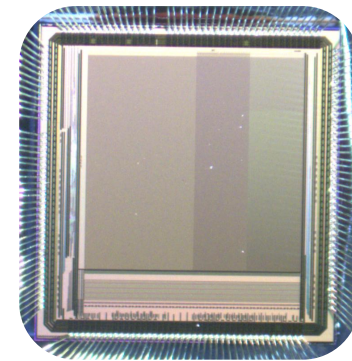
- 2022年09月投片，2023年02月芯片返回
- 芯片最终版图及芯片照片
- 完成芯片COB封装、测试电路板设计加工
- 通过芯片性能测试：像素电荷转移时间小于5ns



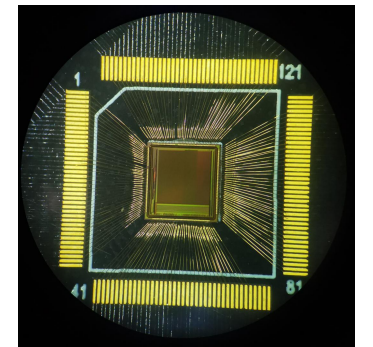
传感器性能测试电路



交错阵列图像传感器芯片版图



芯片显微照片



引线键合显微照片

# 三、系统自主可控与器件研制进展

## • 第四阶段：小规模试制-3

- 2023年3月-至今
- 正在开展与合肥晶合Nexchip的合作
- 基于其90nm CIS工艺进行超高速图像传感器芯片研制
- 将现有的研究成果和技术积累，在新工艺上进行设计验证
- 实现512×512分辨率，时间分辨达到十纳秒量级，连续获取多幅图像的性能

	SMIC	HHGrace	TSMC	DBH	XFAB	Nexchip
工艺节点	0.13μm	0.13μm	0.18μm	0.11μm	0.18μm	90nm
基本制程	1P4M	1P5M	1P6M	1P4M	1P6M	1P4M
标准单元	可用	-	可用	可用	可用	第三方
IO单元	可用	-	可用	可用	可用	无
PCELL库	可用	可用	可用	可用	可用	无
像素设计	规则	规则	4T参考	4T参考	4T参考	无
MIM电容	无	有	有	无	有	无



# 四、高速成像核心器件发展展望

## ➤ 特种传感器芯片设计技术

- ✓ 高时间分辨**像素设计**、高速**片上存储**、高性能**模拟信号处理链路**、**高速高精度ADC**等
- ✓ 超高速**面阵传感器**：空间分辨大于 $512 \times 512$ ，时间分辨小于10ns，帧频率大于50Mfps，连续存储100帧以上
- ✓ 超高速**一维线阵传感器**：空间分辨大于 $1 \times 1024$ ，时间分辨小于1ns，帧频率大于500Mfps，连续存储500帧以上
- ✓ 特殊功能像素传感器：**抗辐照传感器**、**高本底弱信号成像**、**射线直接成像**
- ✓ 结合先进封装技术的**高集成度探测器**：TSV、DBI、SiP、D2D



谢谢大家!