

“中国制造” 光电倍增管研制情况介绍



中国兵器工业集团
NORINCO GROUP

北方夜视科技研究院集团有限公司

NORTH NIGHT VISION SCIENCE & TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE GROUP CO.,LTD

北方夜视科技（南京）研究院有限公司

目录

contents

- 光电倍增管概述
- “中国制造” 光电倍增管研制





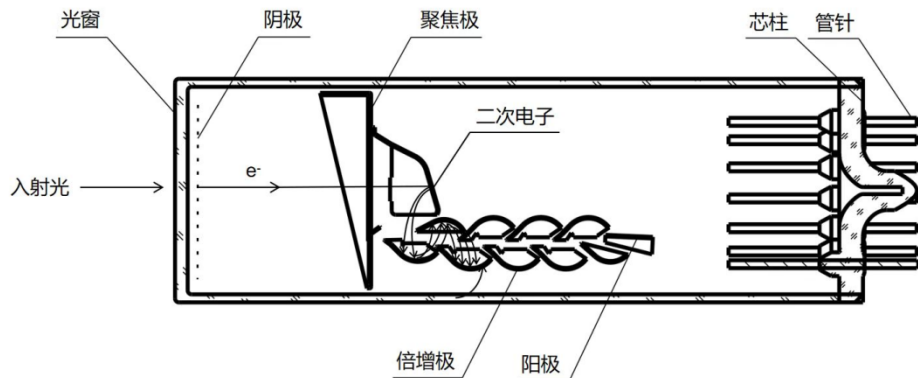
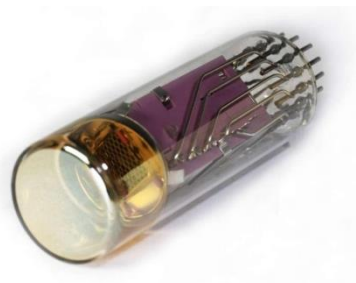
一、光电倍增管概述

一、光电倍增管概述

众所周知，光电倍增管是把微弱光信号转变为电信号并加以不失真放大的电真空器件。在各种感光器件中光电倍增管是性能最好的一种，无论在灵敏度、噪声系数，还是在动态范围上都领先于其它感光器件，更难能可贵的是它的输出信号在相当大的范围内保持高度的线性输出。



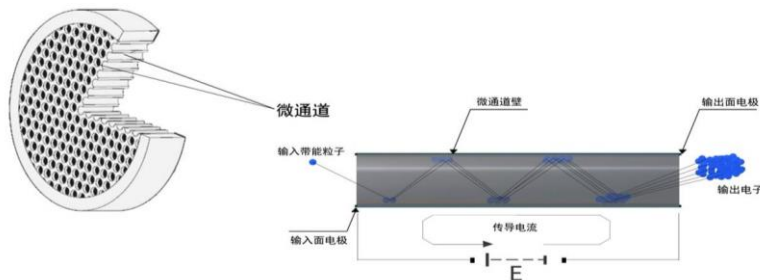
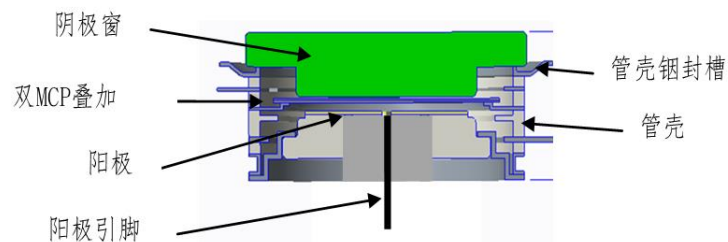
产品类型



打拿极型光电倍增管工作原理图

一、光电倍增管概述

根据真空型光电倍增管倍增系统的不同，可将光电倍增管主要分为**打拿极型光电倍增管**和**微通道板型光电倍增管**。



微通道板型光电倍增管工作原理图

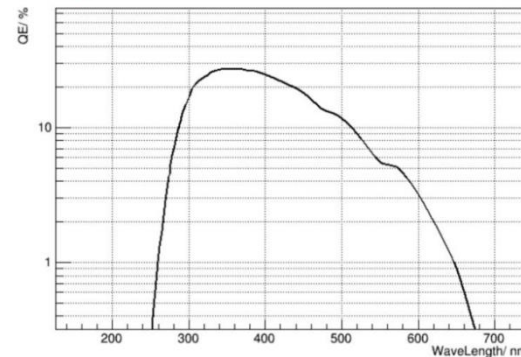


一、光电倍增管概述

产品主要特性

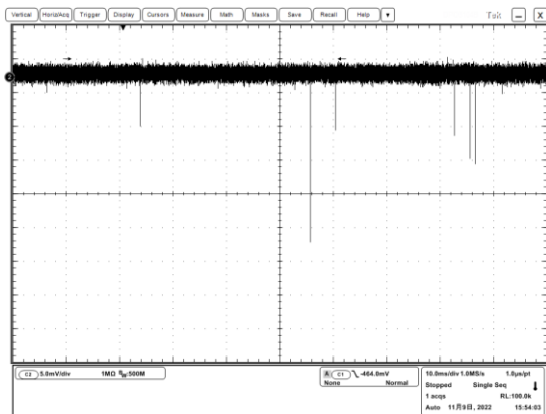
灵敏度特性

- 光谱响应
- 量子效率
- 阴极灵敏度
- 阳极灵敏度
- 阴极蓝光灵敏度
- 增益



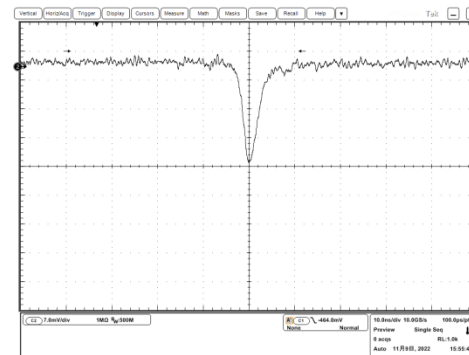
噪声特性

- 暗电流
- 暗计数



时间响应特性

- 上升时间
- 下降时间
- 渡越时间离散



一、光电倍增管概述



二、

“中国制造” 光电倍增管

二、北方夜视光电倍增管研制

公司简介



前身：北方夜视技术股份有限公司南京分公司。

- 成立于2000年5月，由云南298厂、南京528厂和西安205所从事微光夜视器件的相关资源重组而成。
- 直属中国兵器工业集团公司。
- 2010年，公司与昆明211所、云南298厂一起重组为夜视集团。



革新：2021年3月，正式更名为**北方夜视科技（南京）研究院有限公司**，现为夜视集团全资子公司。

- 13000+ m²园区面积
- 140+ 研发人员
- 150+ 项专利、自主知识产权
- 60+ 项荣誉

二、北方夜视光电倍增管研制

公司简介



做世界一流
夜视技术公司

发展微光夜视核心
元件和光电倍增管

围绕红外和微光
两大核心技术

加快先进技术与
前沿科技研究

布局新型数字化、智能
化夜视成像器件产业

深化科技创新机制改革

打造新型夜视器件产研
一体化发展的新兴园区

二、北方夜视光电倍增管研制

北方夜视涉足微光探测型器件

20世纪70年代
成像型器件



像增强器

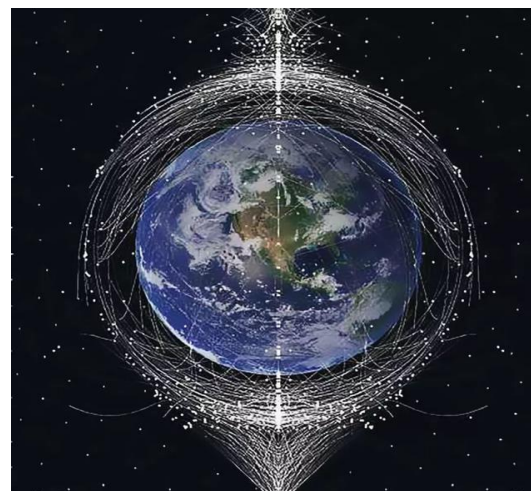


高能所需求牵引
扩大产品门类

2011年
探测型器件



微通道板型光电倍增管
(MCP-PMT)

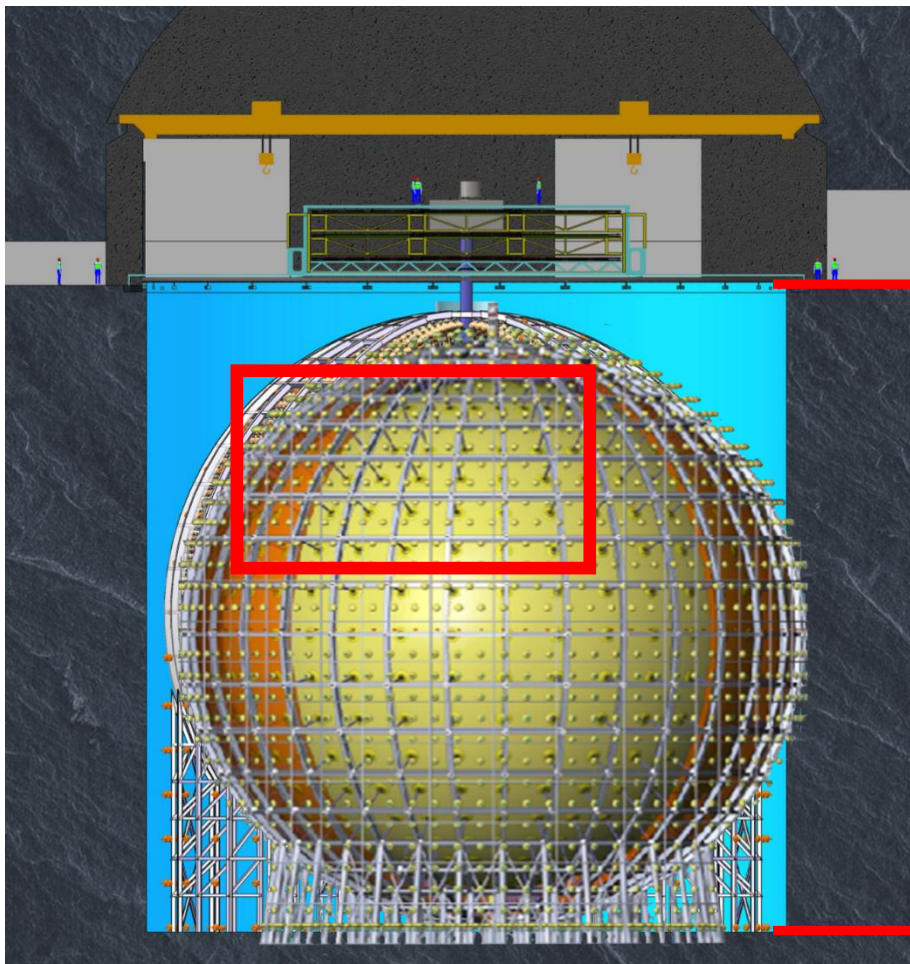


实现微弱信号的成像或探测

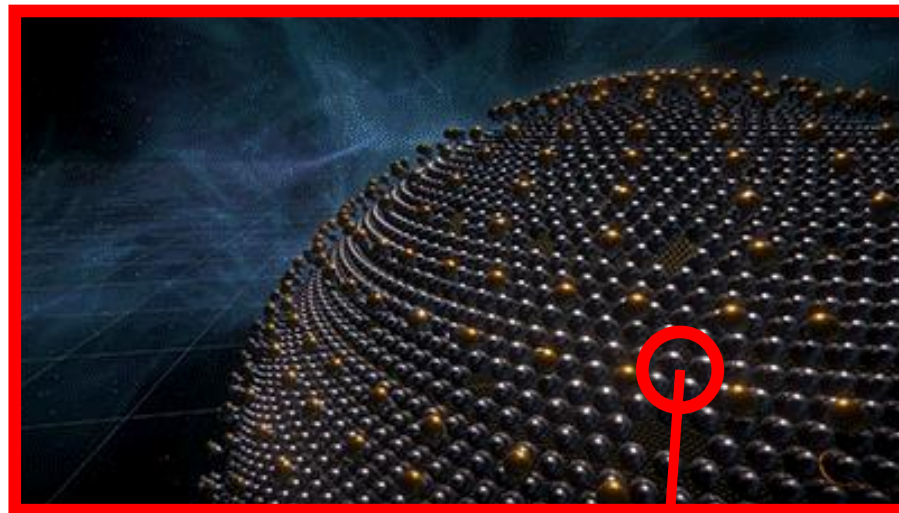
高能所和北方夜视等其他多个单位共同研制

二、北方夜视光电倍增管研制

北方夜视PMT——需求背景



44米



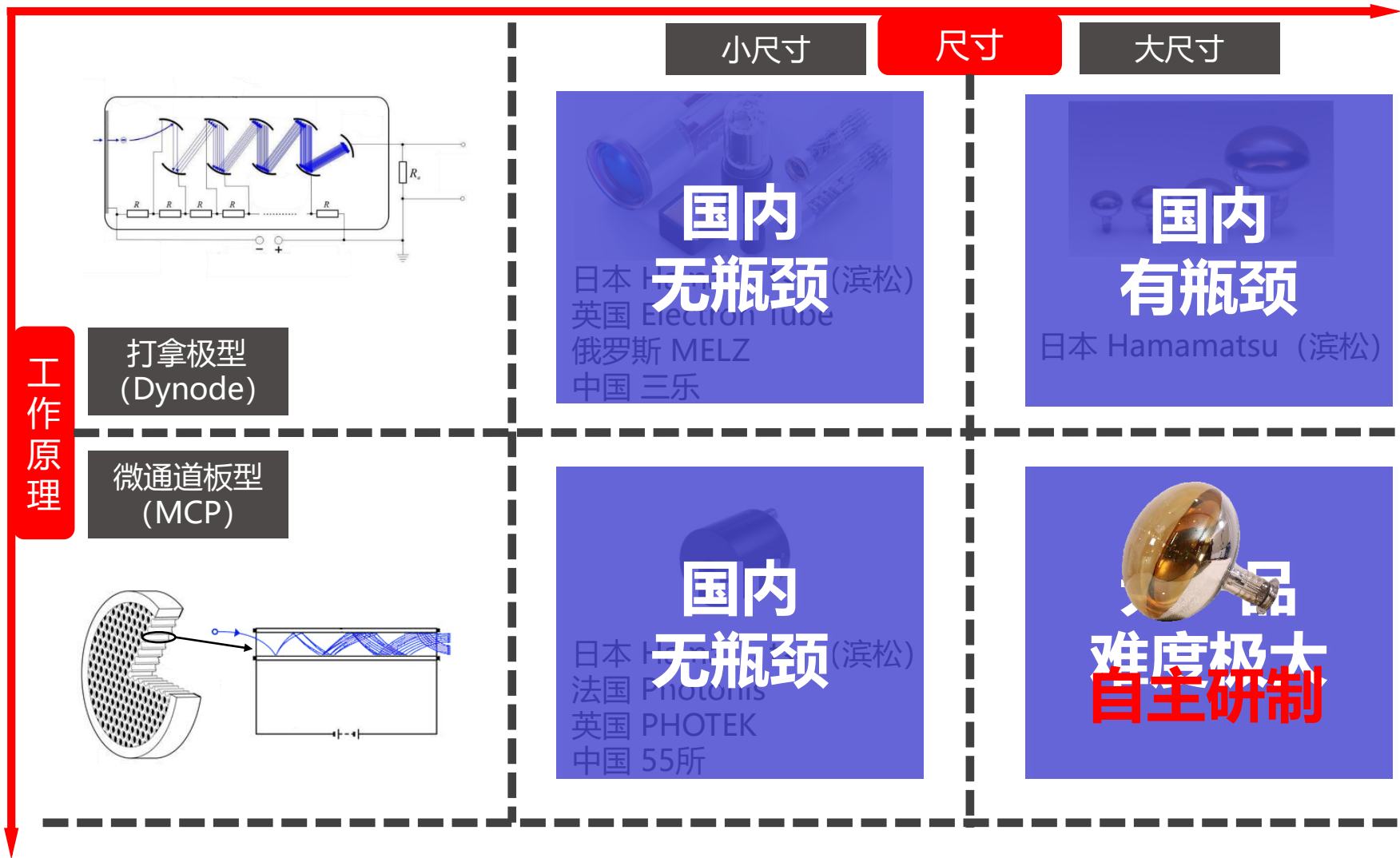
20000只



2011年国家批准的江门中微子实验需要2万只高探测效率的20吋光电倍增管作为核心探测器，但当时世界上无符合指标要求的产品。

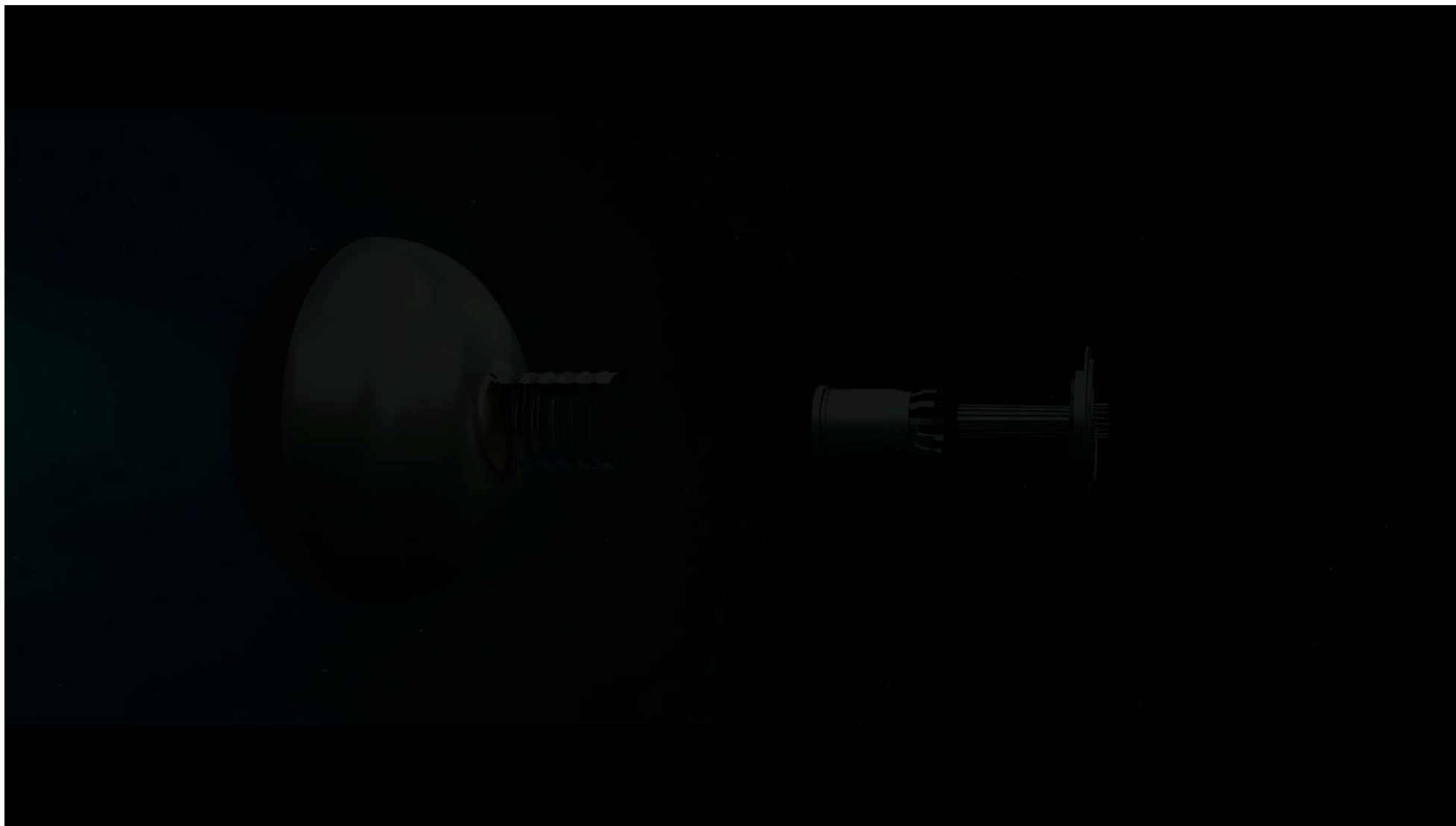
二、北方夜视光电倍增管研制

当时光电倍增管国内外研究状况



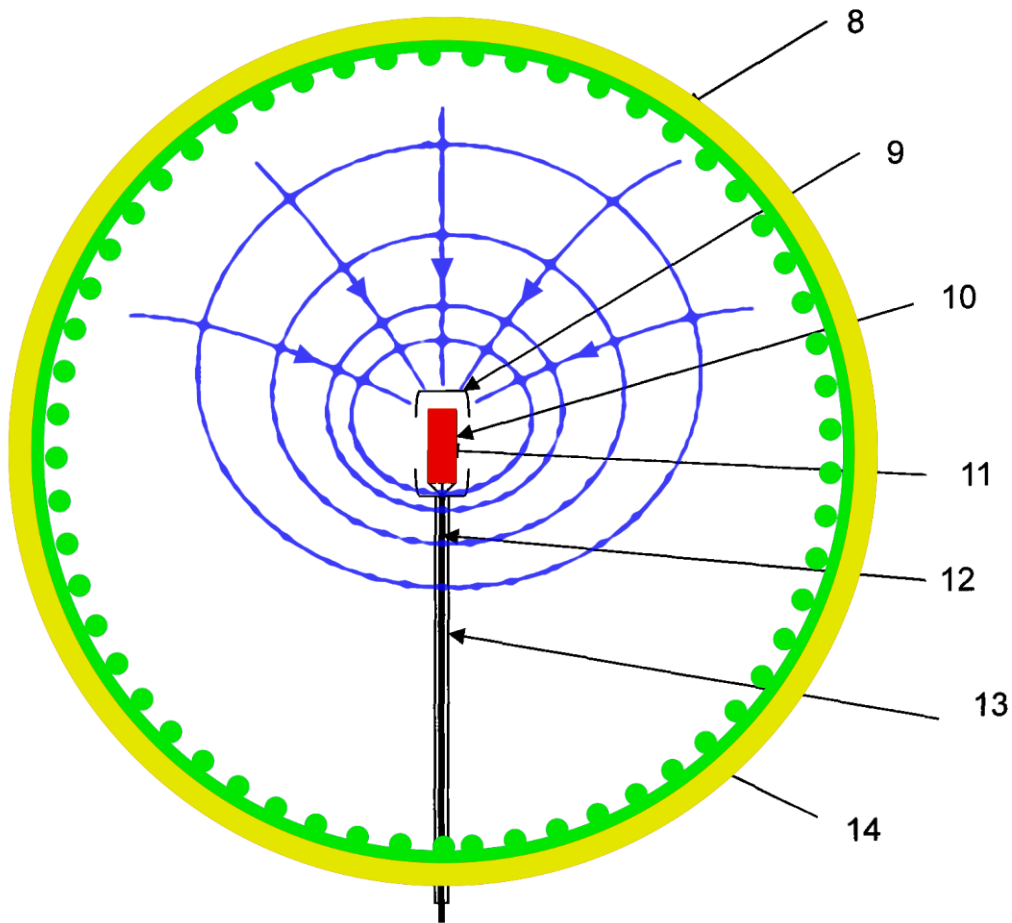
二、北方夜视光电倍增管研制

北方夜视大尺寸MCP-PMT——工作原理



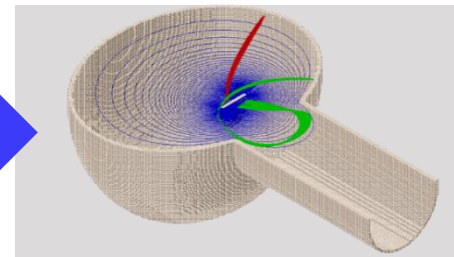
二、北方夜视光电倍增管研制

大尺寸MCP-PMT——技术难题

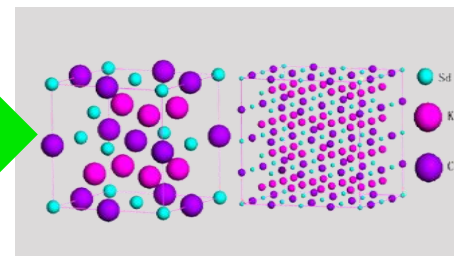


当时高能所提出的20吋微通道板型光电倍增管结构

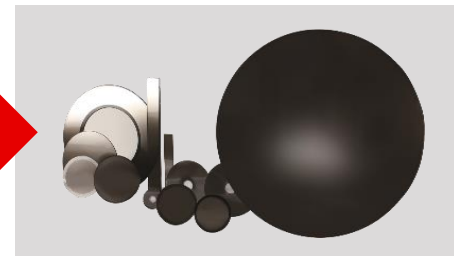
高收集效率
电子光学设计



高量子效率
大面积光电阴极
制备



高增益长寿命微
通道板研制

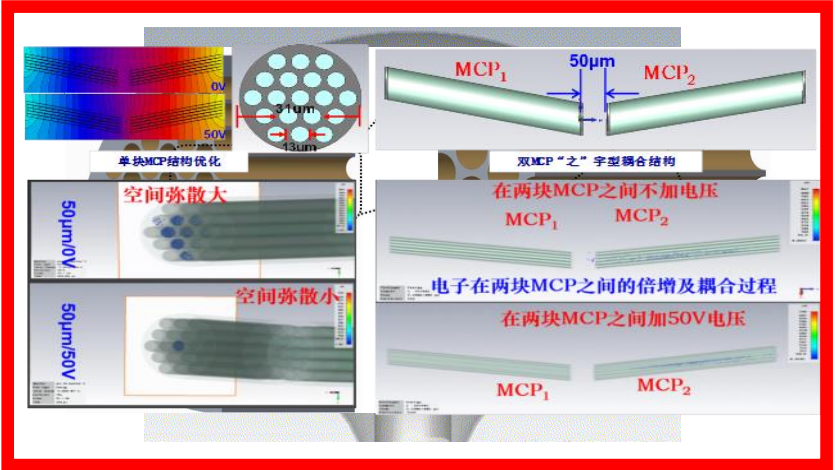
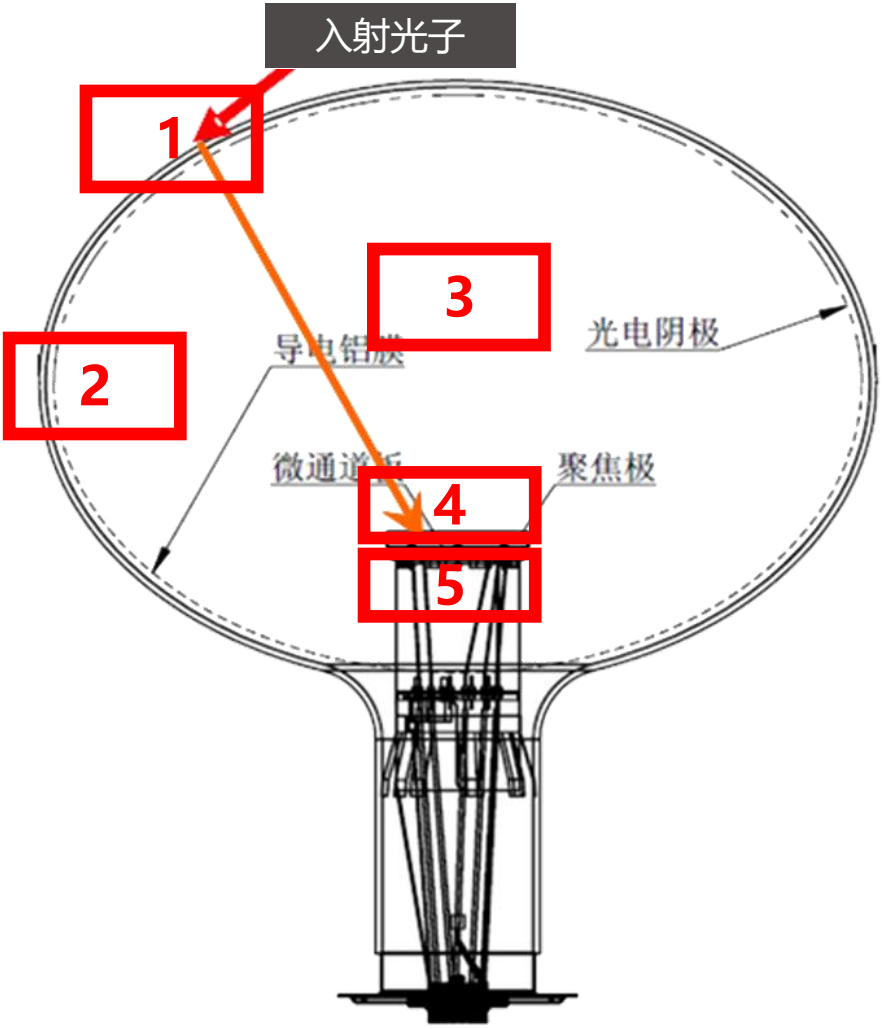


大型低放射性
玻壳加工



二、北方夜视光电倍增管研制

大尺寸MCP-PMT——技术突破

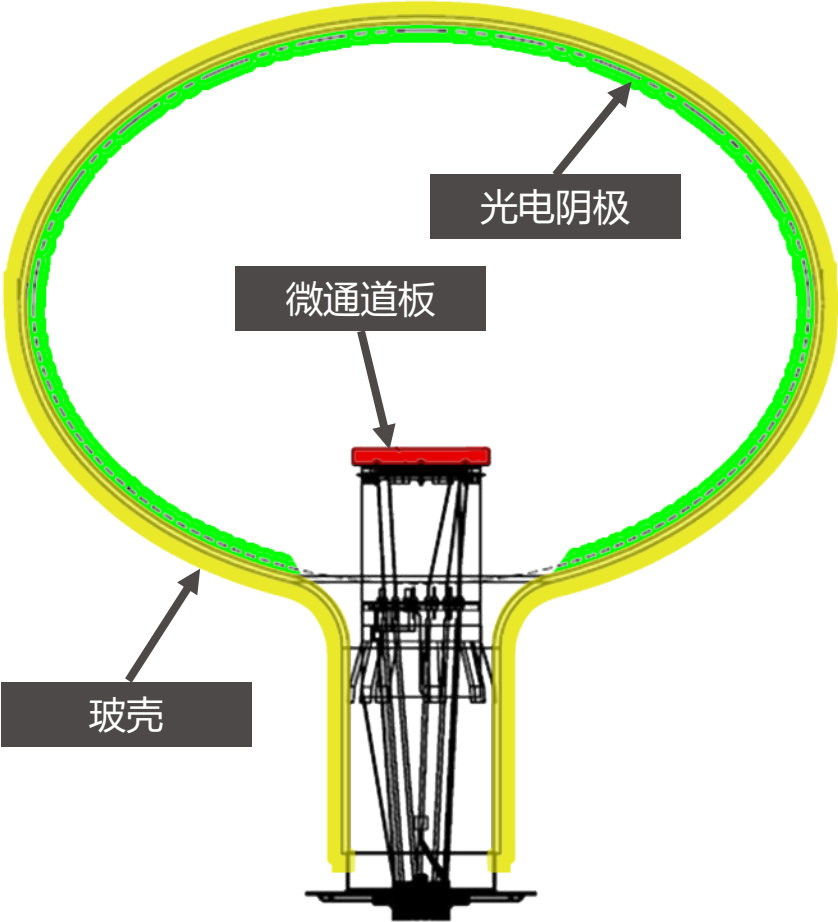


- | | |
|---|----------------|
| 1 | 抗反射内增透膜 |
| 2 | 透射式和反射式相结合光电阴极 |
| 3 | 短轴静电聚焦系统 |
| 4 | 微通道板ALD膜层 |
| 5 | 双微通道板叠加级联结构 |

创新设计了大面积椭球形微通道板型光电倍增管结构，该结构属于世界首创。

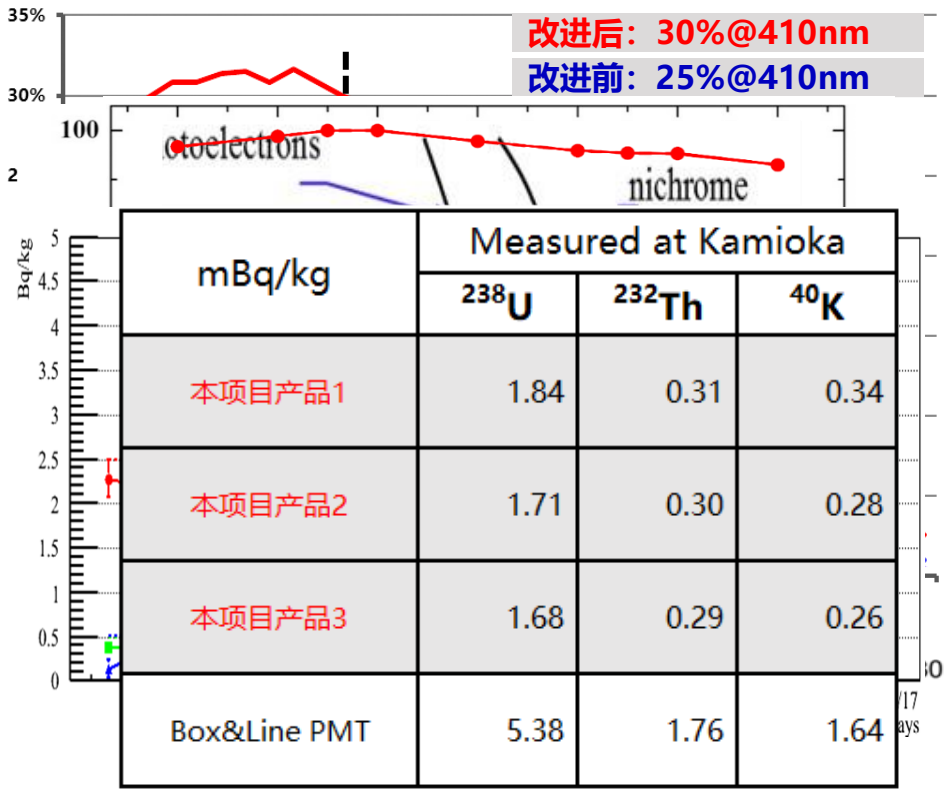
二、北方夜视光电倍增管研制

大尺寸MCP-PMT——技术突破



1

高量子效率双碱光电阴极制作技术



东京大学宇宙线研究所测试结果

掌握大面积光电阴极、高增益长寿命微通道板、大尺寸玻壳等关键制备技术，核心器件实现完全自主制造。

二、北方夜视光电倍增管研制

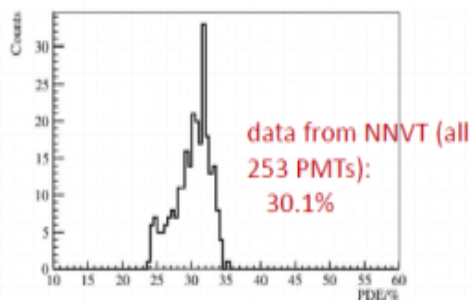
大尺寸MCP-PMT——应用

江门中微子实验 (JUNO)-高探测效率20吋MCP-PMT



【“十三五”成就巡礼】原始创新 科技创新 国之重器先行

中央广播电视总台 2020-10-20

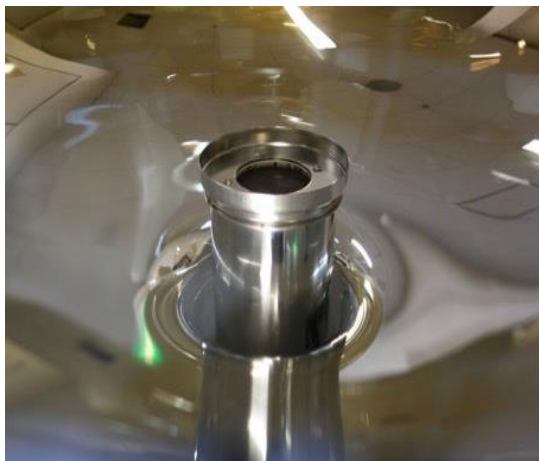


- ◆ 2011年高能所开始与夜视院集团合作研制20吋光电倍增管，于2015年9月研制成功。
- ◆ 2015年12月，夜视院集团成功中标**中科院A类战略性先导科技专项**“江门中微子实验”20吋光电倍增管1.5万只订单，合同金额达2.7亿元，是**目前国内光电倍增管单笔订单金额最大的合同**。
- ◆ 2018年7月，中科院高能所正式发布北方夜视20吋MCP-PMT探测效率为30.1%。
- ◆ 2020年9月，公司完成20吋微通道板型光电倍增管1.5万只交付。

二、北方夜视光电倍增管研制

大尺寸MCP-PMT——应用

高海拔宇宙线观测(LHAASO)-高时间分辨20吋MCP-PMT



普通结构



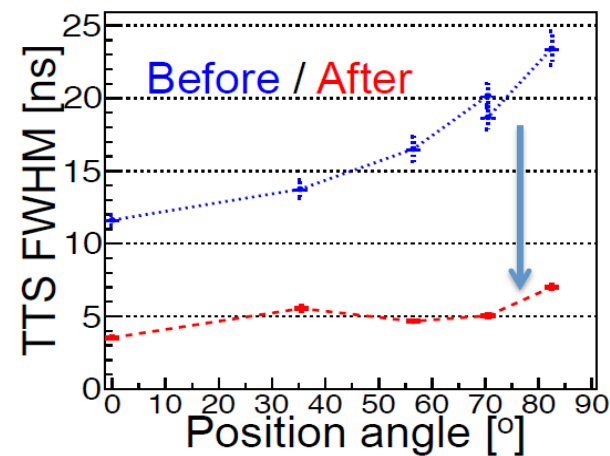
莲花座结构



GDB-6201



GDB-6203 (高时间分辨)



日本东京大学测试数据

二、北方夜视光电倍增管研制

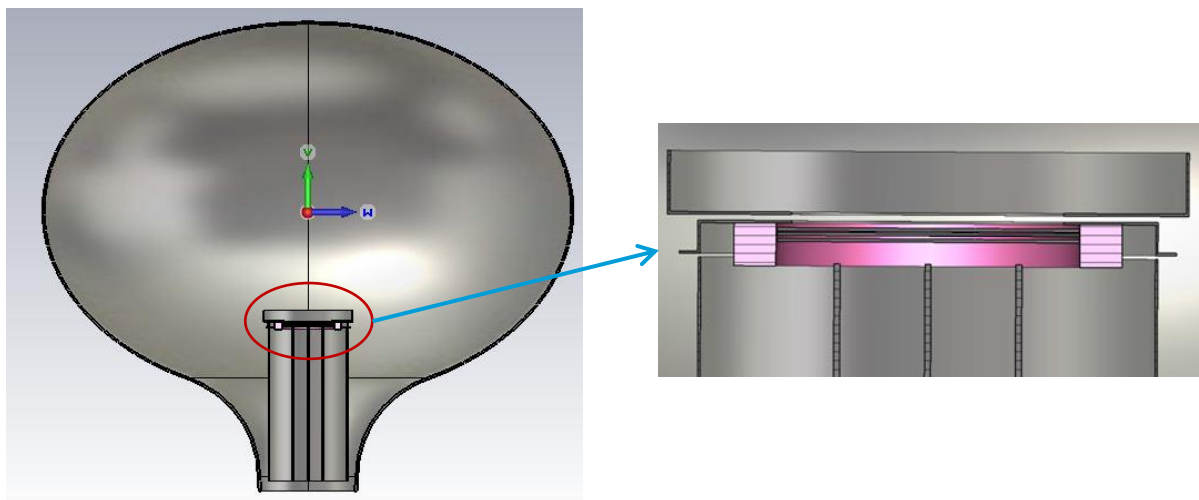
大尺寸MCP-PMT——应用

高海拔宇宙线观测(LHAASO)-高时间分辨20吋MCP-PMT

每个入射光子所产生的电子到达阳极的渡越时间不同，将产生渡越时间离散，即TTS，该参数表征光电倍增管的时间分辨能力。

$$TTS_{total} = \sqrt{TTS_{pc-mcp}^2 + TTS_{mcp}^2 + TTS_{mcp-anode}^2}$$

MCP厚度0.5mm，两片MCP之间的距离以及MCP与阳极之间的距离均为mm级，其场强较强，达到 10^5V/m 以上。相比于阴极到MCP的 10^3V/m ， TTS_{mcp} 和 $TTS_{mcp-anode}$ 对整管TTS影响程度较小。



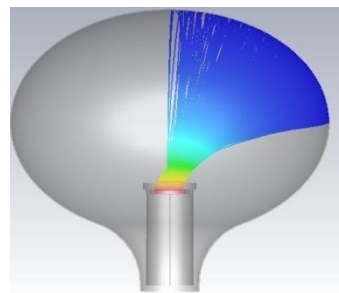
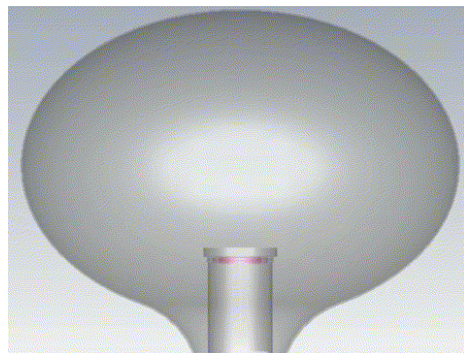
主要通过设计聚焦极结构，优化光电阴极与MCP之间的场强分布，以提高TTS性能。

二、北方夜视光电倍增管研制

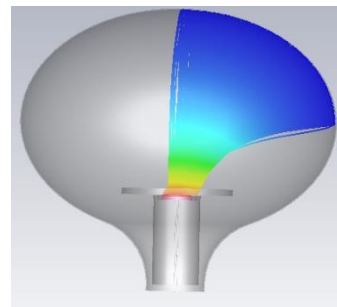
大尺寸MCP-PMT——应用

高海拔宇宙线观测(LHAASO)-高时间分辨20吋MCP-PMT

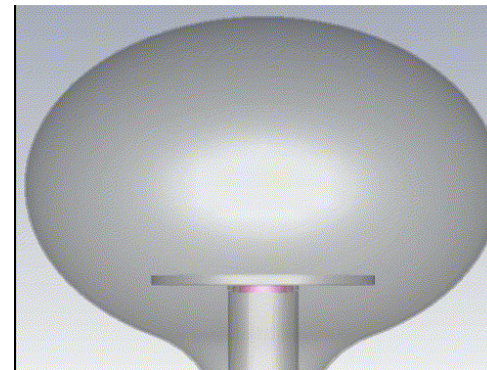
TTS—— 11ns



扩大聚焦
极尺寸



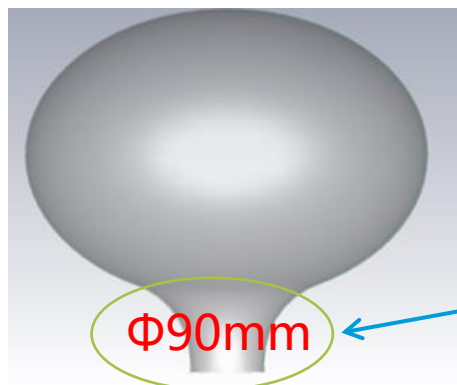
TTS—— 2.5ns



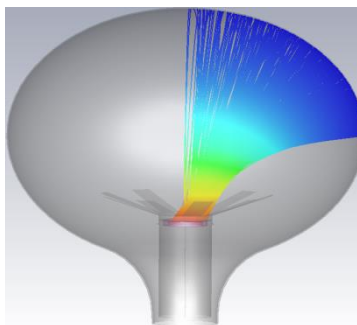
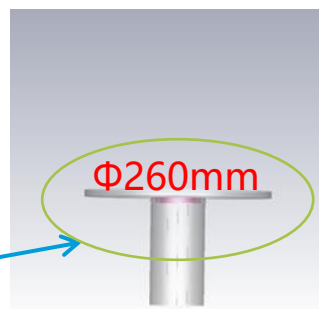
小聚焦极

大聚焦极

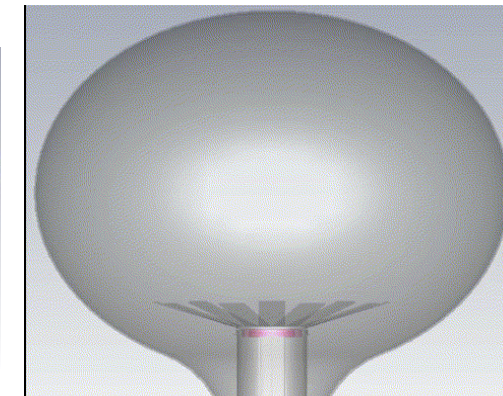
渡越时间离散优化过程



钢封



TTS—— 3ns

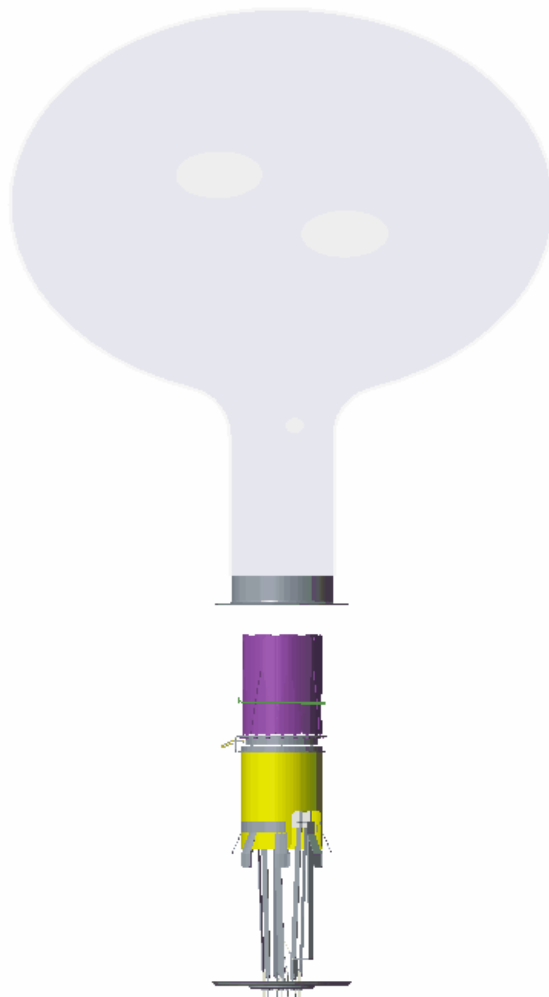


二、北方夜视光电倍增管研制

大尺寸MCP-PMT——应用

高海拔宇宙线观测(LHAASO)-高时间分辨20吋MCP-PMT

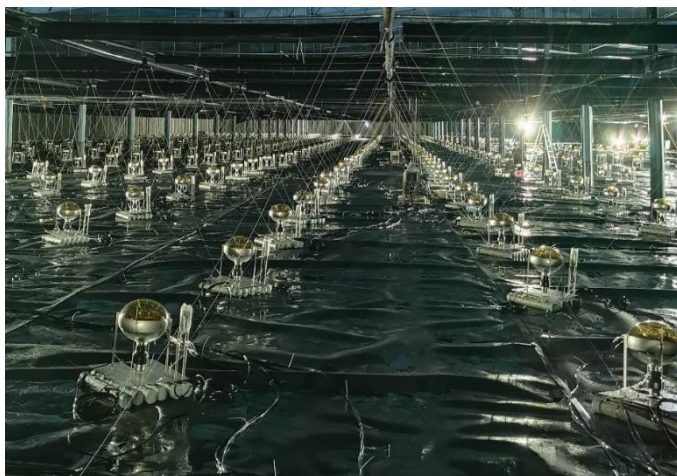
莲花座聚焦极打开动画视频



二、北方夜视光电倍增管研制

大尺寸MCP-PMT——应用

高海拔宇宙线观测(LHAASO)-高时间分辨20吋MCP-PMT



2018年9月，北方夜视成功中标高海拔宇宙线观测站项目2270只高时间分辨20吋微通道版型光电倍增管产品订单。

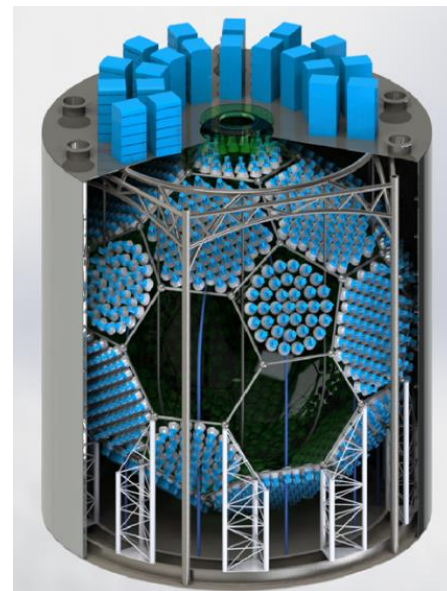
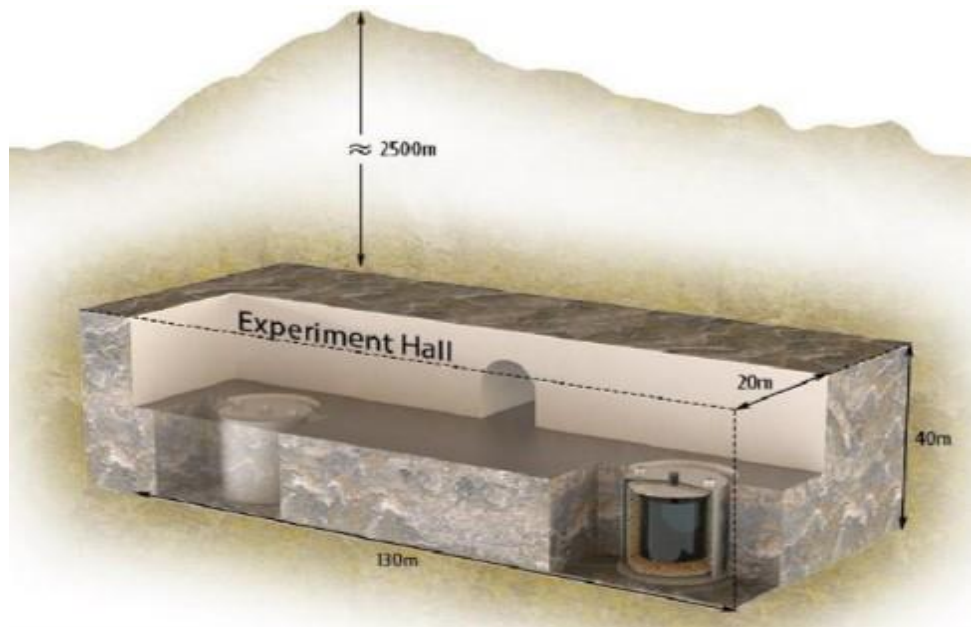
2020年3月，北方夜视完成**全部2270只产品交付**。北方夜视基于过硬的产品质量、高效的产品交期，获得了“高海拔宇宙线观测站”项目“优秀团队”及“优秀项目经理”奖项。

二、北方夜视光电倍增管研制

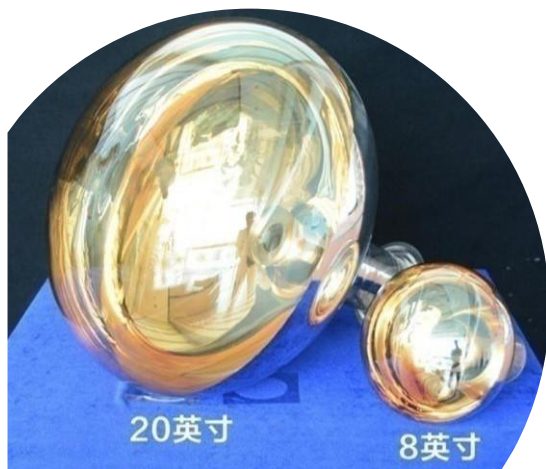
大尺寸MCP-PMT——应用

清华大学锦屏中微子实验 (CJPL)-低本底8吋MCP-PMT

“中国锦屏地下实验室”
是中国首个、世界最深的
极深地下实验室



2019年12月，获得清华大学“**锦屏中微子实验**”项目首批8吋光电倍增管订单。此举为推动中国自主开展**暗物质**探测等国际前沿基础课题研究，并打造**世界一流的洁净低辐射研究平台**，做出了重要贡献。



二、北方夜视光电倍增管研制

打拿极型光电倍增管

光电倍增管产业可持续发展

光电倍增管全球年需求量约20亿元人民币，数量超过80万只，高能物理领域占比为20%，由于其特殊性存在着脉冲式的订单需求。经调研，医疗仪器、环保监测、辐射测量等应用领域需求稳定，年增长率达到10%以上，未来市场前景广阔。

目前，公司已研制出**几十余款**打拿极型光电倍增管，主要应用于辐射测量、医疗仪器、环境监测等领域。



二、北方夜视光电倍增管研制

打拿极型光电倍增管



N2013型PMT



化学发光免疫分析仪

拓展应用领域——医疗检测

N2013打拿极型光电倍增管

指标名称	N2013
增益	7×10^6
积分灵敏度	80 μ A/lm
暗计数率	200Hz
线性电流	15mA
上升时间	1.5ns
尺寸	$\phi 28.5 \times 87\text{mm}$

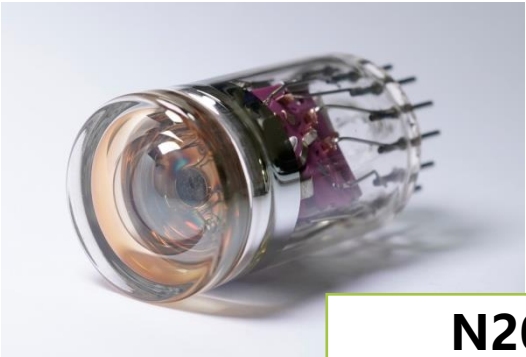
成功研制N2013型1吋端窗光电倍增管，主要应用于医疗检测领域中的化学发光免疫分析仪，助力国内新冠病毒抗体检测。

二、北方夜视光电倍增管研制

打拿极型光电倍增管

拓展应用领域——医疗检测

N2014打拿极型光电倍增管



N2014型PMT

指标名称	N2014
增益	7×10^6
阴极蓝光灵敏度	$12 \mu\text{A}/\text{lm}$
暗电流	3nA
上升时间	2ns
尺寸	$\varphi 25.4 \times 43\text{mm}$



口腔CR

成功研制N2014型1吋端窗光电倍增管，产品结构更为紧凑，主要应用于口腔CR中，助力国内口腔医学发展。

二、北方夜视光电倍增管研制

打拿极型光电倍增管



N4021型PMT
主要应用于辐射测量领域



核素识别仪



核料位计

拓展应用领域——辐射测量

N4021打拿极型光电倍增管

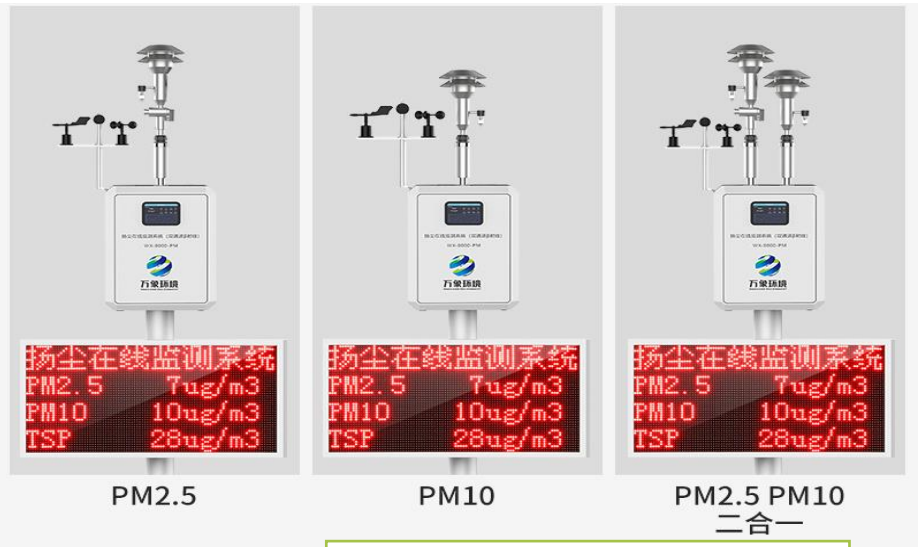
指标名称	N4021
增益	2.8×10^7
能量分辨率	6.9%
量子效率@405nm	25%
暗电流	30nA
上升时间	7ns
尺寸	φ51×112mm

为满足辐射测量领域的需求，在以往技术积累基础上，成功研制N4021型2吋端窗光电倍增管，已获得客户的一致好评。

打拿极型光电倍增管



N2002型0.5吋端窗
光电倍增管



扬尘监测仪

二、北方夜视光电倍增管研制

拓展应用领域——环保监测

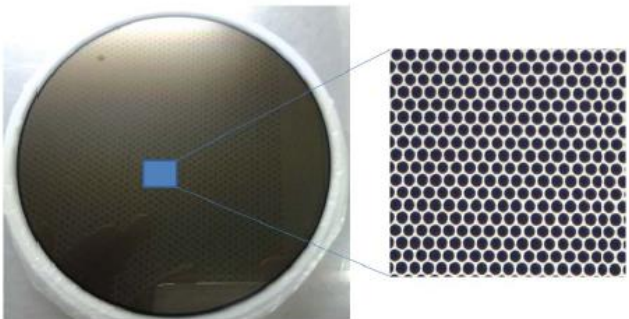
N2002打拿极型光电倍增管

指标名称	N2002
增益	7×10^6
积分灵敏度	$70\mu\text{A}/\text{lm}$
阴极蓝光灵敏度	$10\mu\text{A}/\text{lmf}$
暗计数率	100Hz
暗电流	1nA
尺寸	$\phi13.5\times71\text{mm}$

为满足环境监测领域的需求，成功研制N2002型0.5吋端窗光电倍增管，已成功应用于国内多家环保监测领域厂家中，助力国内环保产业发展。

二、北方夜视光电倍增管研制

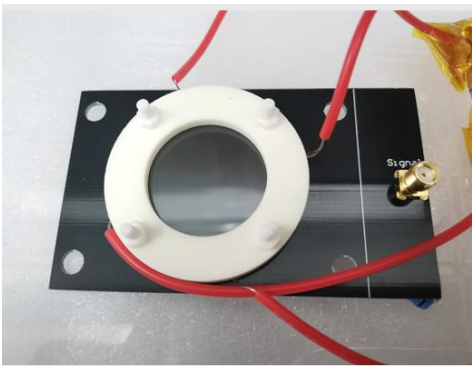
北方夜视其他产品



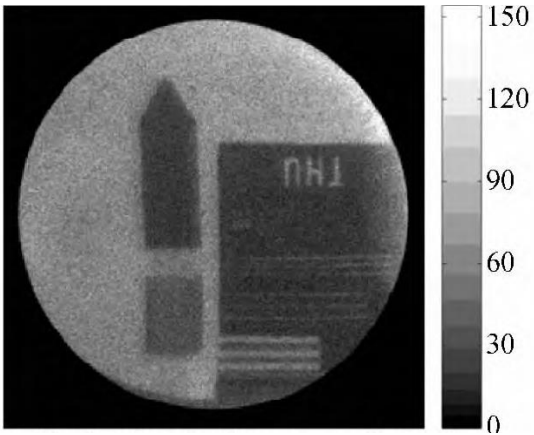
中子敏感MCP

中子敏感MCP

中子敏感MCP，通过在基材中掺杂硼、钐等元素，实现MCP对中子的敏感。目前，北方夜视中子敏感MCP实现了大面阵、低噪声和高探测效率，各项性能达国际先进水平。产品提供给国内各高校和科研院所，用于中子成像探测领域。



中子敏感MCP组件

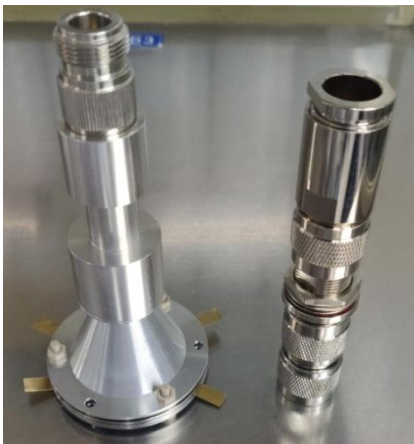


探测器热中子成像结果

主要性能指标	中子敏感MCP	国外同类产品	先进性备注
时间分辨	~1 μ s	~1 μ s	国际先进
暗计数率	0.1counts $\cdot$ s ⁻¹ cm ⁻²	0.11counts $\cdot$ s ⁻¹ cm ⁻²	国际先进
中子探测效率	35%	35%	国际先进

二、北方夜视光电倍增管研制

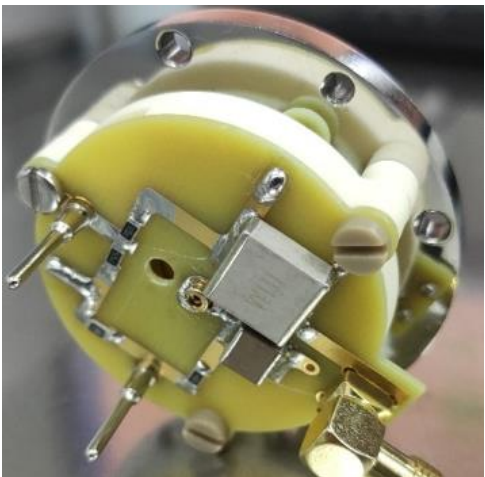
北方夜视其他产品



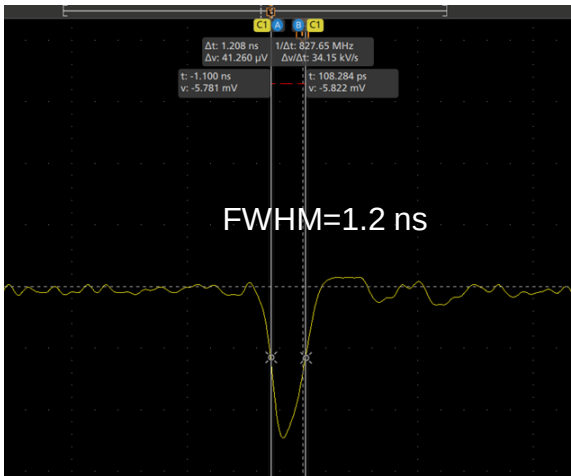
Φ33单阳极-超快时间响应型MCP组件

MCP组件

Φ33微通道板组件，该组件具有时间分辨率高、结构紧凑的特点，增益 $\geq 1E6$ ，暗计数率 $\leq 3\text{counts} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，脉冲半高宽达到1.2ns，各项性能达到国际先进水平。产品已应用于多家质谱仪厂家和高校。



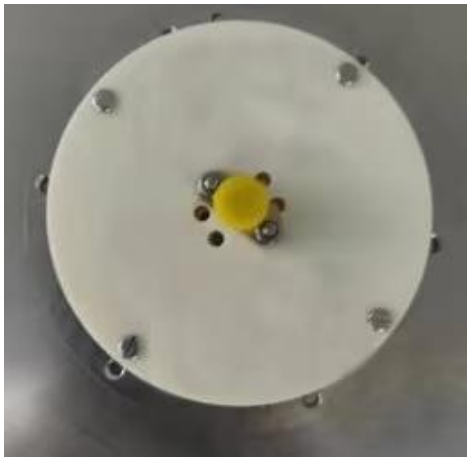
ZJ20331微通道板组件



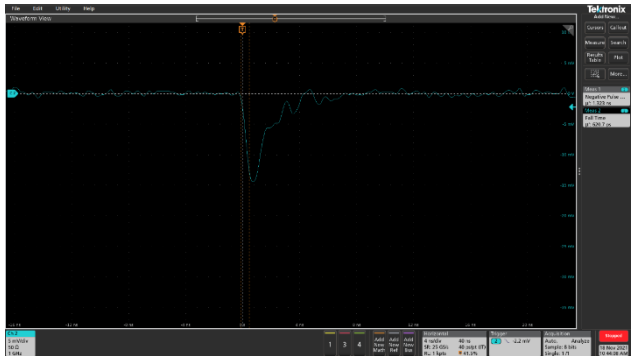
组件输出波形

主要性能指标	微通道板组件	国外同类产品	先进性备注
增益	$\geq 1E6$	$\geq 1E6$	国际先进
暗计数率	$\leq 3\text{counts} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$	$\leq 3\text{counts} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$	国际先进
脉冲半高宽	$\leq 1.2\text{ns}$	$\leq 1.2\text{ns}$	国际先进

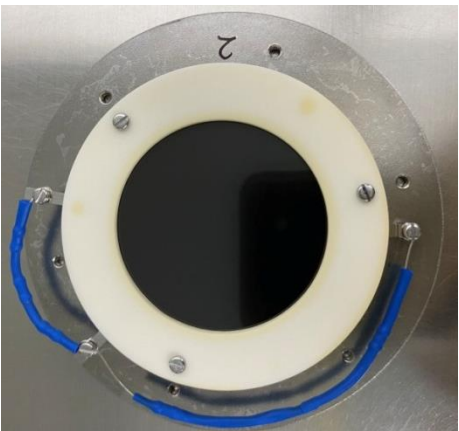
北方夜视其他产品



Φ50单阳极型MCP组件



上升时间0.5ns



Φ50荧光屏型MCP组件

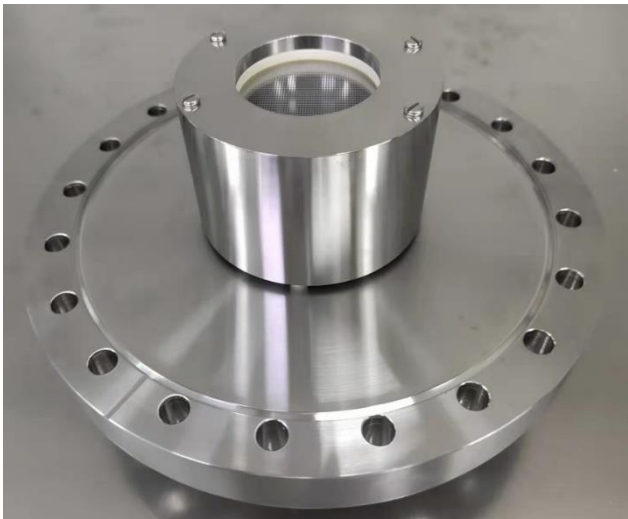


成像均匀

二、北方夜视光电倍增管研制

MCP组件

Φ50微通道板组件，包括单阳极型和荧光屏型两种产品，产品具有增益高、上升时间快、成像均匀性好等特点。



Φ50单阳极法兰型MCP组件

主要性能指标	微通道板组件	国外同类产品	先进性备注
增益	$\geq 1E6$	$\geq 1E6$	国际先进
上升时间	0.5ns	0.6ns	国际先进

感 想

光电倍增管问世至今，作为非常有效的弱光探测器件，已有80多年的发展历史，它经历了光度测量、闪烁计数、时间测量等几个发展阶段，所谓的夕阳产品反而进入最富有意义的蓬勃发展的新阶段：一是基础工艺的不断改进、基础设施的不断完善；二是光电倍增管的性能参数不断提高；三是许多特种功能和特种结构的光电倍增管在这一阶段应运而生。

未来，北方夜视始终坚持“核心器件为本”的发展方针，重点开拓微光夜视核心元件产业，建设成为“国际一流的光电探测器供应商”。



中国兵器
工业集团

北方夜视科技研究院集团有限公司

NORINCO GROUP NORTH NIGHT VISION SCIENCE & TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE GROUP CO.,LTD

谢谢！

「核心器件为本 做中国最好的热像仪」